



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ESKO TIENSUU
YKSINKERTAISTETTU PIENTALON ENERGIANKULUTUSLAS-
KURI
Kandidaatintyö

Tarkastaja: diplomi-insinööri Juhani
Heljo

Jätetty tarkastettavaksi 13.01.2018

TIIVISTELMÄ

Esko Tiensuu: Yksinkertaistettu pientalon energiankulutuslaskuri,
Simplyfied Energy Consumption Calculator for Small Residential Buildings
Tampereen teknillinen yliopisto
Kandidaatintyö, 33 sivua, 4 liitesivua
Tammikuu 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Pääaine: Talonrakentaminen
Tarkastaja: diplomi-insinööri Juhani Heljo

Avainsanat: Rakennuksen energiankulutus, pientalo, energiankulutuslaskuri, helppokäyttöisyys, lämmitystarveluku

Tässä kandidaatintyössä perehdyttiin pientalon energiankulutuksen laskentaan. Rakennuksessa energiaa tarvitaan tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen, ilmanvaihtoon, käyttöveden lämmitykseen sekä sähkölaitteiden ja valaistuksen käyttöön. Nykyaikaisessa pientalossa noin 70 % energiankulutuksesta muodostuu lämmityksestä ja loput kotitaloussähköstä.

Tutkimuksessa tehtiin Microsoft Excelissä toimiva laskuri, jonka laskennan perustana käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman eri osien laskukaavoja. Laskurista oli tarkoitus tehdä yksinkertainen niin toteutukseltaan kuin käytöltään. Sillä piti kuitenkin pystyä tekemään riittävän tarkkoja laskelmia vuotuisesta energiankulutuksesta. Vuositason laskennassa hyödynnettiin lämmitystarvelukua, joka kuvaa sisä- ja ulkolämpötilojen keskimääräistä eroa vuorokauden aikana. Taustalla on olettaus, että lämmitykseen tarvittava energiamäärä on likimain suoraan verrannollinen näiden lämpötilojen erotukseen.

Tutkimuksessa tehtyä laskuria verrattiin kolmeen internet-selaimessa toimivaan sähköyhtiön laskuriin niin tulosten tarkkuuden kuin käytön helppouden osalta. Energiankulutuslaskelmia varten tutkimuksessa käytettiin esimerkkikohdetta. Laskenta suoritettiin kohteen tiedoilla, jonka jälkeen tuloksia verrattiin toisiinsa ja toteutuneeseen kulutukseen.

Laskurin helppokäyttöisyyden arviointi perustui tekijänsä näkemykseen. Laskentaan tarvittiin saman verran tai vähemmän syötteitä kuin verrokkilaskureissa, joten siltä osin käyttöä voi pitää helppona. Ulkopuolista käyttäjää varten laskurin ohessa olisi voinut olla enemmän ohjeita. Laskentaa yksinkertaistettiin rakentamismääräyskokoelmasta, mutta eri vaihtoehtoja ja muuttujia jäi laskentaan silti paljon. Tulokset osoittivat, että tutkimuksen laskurin tarkkuus esimerkkikohteen tapauksessa oli huonompi kuin verrokkilaskureilla. Tarkempi laskenta vaatii käyttäjältä perehtyneisyyttä rakennusalaan.

ALKUSANAT

Kiitän työni ohjaajaa DI Juhani Heljoa, joka pystyi järjestämään aikaa opastukselle lyhyelläkin varoitusajalla. Kiitän myös vanhempiani, joilta sain tiedot esimerkkikohteesta ja puolisoani, joka tuki ja tsemppasi tässä pitkässä projektissa.

Tampereella 13. tammikuuta 2018

Esko Tiensuu

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	RAKENNUKSEN ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTAPERIAATTEET....	3
2.1	Tuntitason seuranta	4
2.2	Kuukausitason seuranta.....	5
2.3	Vuositason seuranta.....	6
2.3.1	Lämmitystarveluku	6
2.3.2	Esimerkkejä vuositason laskureista	10
3.	LASKENTAMALLI JA EXCEL-LASKURI.....	12
3.1	Laskentamalli	12
3.1.1	Rakennusosien lämpöhäviöt	12
3.1.2	Ilmavuotojen lämpöhäviöt	16
3.1.3	Ilmanvaihdon lämpöhäviöt	17
3.1.4	Käyttöveden lämmityksen energiankulutus	18
3.1.5	Sähkölaiteiden energiankulutus	19
3.2	Excel-laskurin käyttö.....	19
4.	ENERGIANKULUTUSLASKELMAT	23
4.1	Esimerkkikohteen energiankulutuksen laskenta oletusarvoilla	23
4.2	Esimerkkikohteen energiankulutuksen laskenta todenmukaisilla tiedoilla..	26
4.3	Yhteenveto laskelmista	27
4.4	Laskennan tarkkuus ja virhelähteet	28
5.	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET.....	32

LIITE A: KANDIDAATINTYÖN ENERGIANKULUTUSLASKURIN NÄKYMÄ

LIITE B: SÄHKÖNKÄYTTÖTOTTUMUKSIIN VASTAAMISEN VAIKUTUS TU-
LOKSIIN

LYHENTEET JA MERKINNÄT

E-luku	rakennuksen ostoenergiantarpeen ja energiamuodon kertoimen tulo jaettuna rakennuksen nettopinta-alalla
energiamuoto	esim. sähkö, kaukolämpö, puu ja öljy
energian nettotarve	katso energiatasemenetelmä
energiatasemenetelmä	saman kuukauden aikana rakennuksen sisään tuleva energiamäärä on sama kuin rakennuksesta poistuva energiamäärä
kokonaisenergiankulutus	rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitykseen sekä sähkölaitteisiin kuluva energia
lämmitystarveluku S17	paikkakunta-kohtainen vertailuluku, joka perustuu sisälämpötilan (+17 °C) ja ulkolämpötilan erotukseen
ostoenergia	lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä sähkölaitteiden käyttämä energia, josta vähennetään uusiutuva omavaraisenergia
vaippa (rakennuksen)	rakennuksen ulkopinnan rakennusosat eli alapohja, yläpohja ja ulkoseinät
vuotoilma	rakennuksen ulkovaipan läpi tuleva hallitsematon ilmavirta
et al.	et alii (latinaa), ynnä muut
IFC	Industry Foundation Classes, tietomallintamisessa käytettävä tiedostomuoto
CAD	computer-aided design, tietokoneavusteinen piirtäminen
RakMk	Suomen rakentamismääräyskokoelma
A_{alapohja}	rakennuksen alapohjan pinta-ala
A_i	rakennusosan pinta-ala
A_{ikkunat}	rakennuksen ulkoikkunoiden yhteenlaskettu pinta-ala
A_{kerros}	yhden kerroksen lämmitettävä lattiapinta-ala
$A_{\text{lämmit.}}$	rakennuksen lämmitettävä lattiapinta-ala
$A_{\text{lyhyempi sivu}}$	rakennuksen lyhyemmän julkisivun pinta-ala yhden kerroksen korkeudelta
A_{ovet}	rakennuksen ulko-ovien sekä tuuletusluukkujen yhteenlaskettu pinta-ala
$A_{\text{pidempi sivu}}$	rakennuksen pidemmän julkisivun pinta-ala yhden kerroksen korkeudelta
$A_{\text{ulkoseinät}}$	rakennuksen ulkoseinien yhteenlaskettu pinta-ala, jossa vaipasta on vähennetty ikkunat ja ovet
$A_{\text{vaippa, kerros}}$	yhden kerroksen vaipan pinta-ala ilman ala- ja yläpohjaa
A_{vaippa}	rakennuksen vaipan pinta-ala ilman ala- ja yläpohjaa eli julkisivujen yhteenlaskettu pinta-ala
$A_{\text{yläpohja}}$	rakennuksen yläpohjan pinta-ala
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti
E_{kok}	rakennuksen vuotuinen kokonaisenergiankulutus
η_a	lämmöntalteenottolaitteiston laskennallinen hyötysuhde
H_{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö
H_{joht}	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö

$H_{\text{joht},i}$	yksittäisen rakennusosan ominaislämpöhäviö
$h_{\text{kerroskorkeus}}$	etäisyys kerroksen lattiapinnasta seuraavan kerroksen lattiapintaan
$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö
k_l	kuluttajalaitteiden käyttöaste
k_v	valaistuksen käyttöaste
n_{50}	rakennuksen ilmanvuotoluku
$N_{\text{asukasluku}}$	rakennuksessa vakituisesti asuvien henkilöiden määrä
$N_{\text{kerroslkm.}}$	rakennuksen lämmitettyjen kerrosten lukumäärä
Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve
Q_{joht}	rakennusosien kautta poistuva vuotuinen ominaislämpöhäviöenergia
Q_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve
$Q_{lkv,LTO}$	käyttöveden lämmitykseen käytetty jätevedestä talteen otettu lämpö
$Q_{\text{valaistus ja laitteet}}$	sähkölaitteiden vuotuinen lämpökuorma lämmitettyä kerrosalaa kohden
$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämmitysenergian nettotarve
P_l	kuluttajalaitteiden lämpökuorma
P_v	valaistuksen lämpökuorma
q_{50}	rakennusvaipan ilmanvuotoluku
$q_{v,\text{poisto}}$	standardikäytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta
$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta
ρ_i	ilman tiheys
ρ_v	veden tiheys
S_{17}	lämmitystarveluku
t_d	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaika-suhde
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila
t_v	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde
τ_d	rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa
τ_w	rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa
U_i	rakennusosan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo
V	rakennuksen tilavuus
V_{asukas}	yhden asukkaan vuorokaudessa kuluttama lämmin käyttövesimäärä
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus
$W_{\text{valaistus ja laitteet}}$	sähkölaitteiden vuotuinen sähköenergiantarve
x_k	vuotoilmavirran laskennassa tarvittava kerrosmäärästä riippuva kerroin

1. JOHDANTO

Asumiskustannuksista suuren osuuden muodostavat energiakustannukset, jotka koostuvat lämmityksestä ja jäähdytyksestä, ilmanvaihdosta sekä sähkön käytöstä. Lämmitys jaetaan tilojen, tuloilman sekä käyttöveden lämmitykseen, ja se muodostaa nykyaikaisessa matalaenergiatalossa noin 70 % rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta. Loput noin 30 % tulee valaistuksen sekä kuluttajalaitteiden käytöstä. (Motiva 2016)

Rakennuksen energiankulutuksen laskentaa voidaan tehdä kolmella tasolla. Tuntitason simulointi mahdollistaa lämmityksen ja ilmanvaihdon dynaamisen tarkastelun 3D-mallissa. Kuukausitaso perustuu rakennuksen sisäisten lämpökuormien ja -häviöiden laskentaan. Kolmas vaihtoehto on yksinkertaistettu laskenta, jossa käytetään lämmitystarvelukua. Lämmitystarveluku on paikkakuntakohtainen arvo sisälämpötilan ja vuorokauden keskilämpötilan erotuksena, jonka käyttö perustuu olettamukseen, että energiankulutus on lähes verrannollinen näiden väliseen erotukseen. Tässä työssä perehdytään viimeiseen laskentatapaan ja kaksi muuta tasoa esitellään vain lyhyesti.

Asunnon energiankulutuksen laskentaan löytyy internetistä eritasoisia ilmaisia laskureita. Niistä helppokäyttöisimmillä voi kulutusta arvioida vähäisilläkin lähtötiedoilla, kuten pinta-alan ja rakennusvuoden perusteella. Toisessa päässä käytön vaativuusasteikkoa ovat Suomen rakentamismääräyskokoelma D3:n tasauslaskimen kaltaiset ohjelmat. Tasauslaskinta käytetään muun muassa rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen, eli E-luvun laskentaan (Ympäristöministeriö 2017). Tasauslaskimen kaltaiset ohjelmat vaativat käyttäjältään kuitenkin perehtyneisyyttä rakennusalan termistöön ja rakennusteknistä ymmärrystä. Lisäksi nämä vaativat käyttäjältä yleensä useita kymmeniä syötteitä, jotta laskenta voidaan suorittaa. Helppokäyttöisten laskinten puutteena voidaan pitää sitä, että ne eivät kerro käyttäjälleen, kuinka lopputulokseen on päästy. Laskennan vaiheita ja laskennassa käytettyjä oletuksia ei voi tutkia.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tehdä yksinkertainen ja helppokäyttöinen laskuri, jolla pystyisi kuitenkin tekemään luotettavia laskelmia rakennuksen energiankulutuksesta. Vertailukohtana helppokäyttöisyyden ja tulosten tarkkuuden osalta käytettiin internetistä valittuja sähköyhtiöiden tarjoamia ilmaisia laskureita. Kandidaatintyön laskurin lähtökohdaksi otettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osat D3 ja D5, joista on poimittu rakennuksen energiankulutuksen laskentaan tarvittavat kaavat. Tutkimusta varten tehty laskuri myös auttoi tekijäänsä ymmärtämään paremmin laskennan yksinkertaistamisessa tarvittavien oletusten vaikutusta laskennan tulokseen. Tutkimuksessa tehty laskuri on tarkoitettu erityisesti pientalojen energiankulutuksen laskentaan.

Tutkimuksen laskuri tehtiin Microsoft Excel -ohjelmalla. Laskennan perustana käytettävät oletusarvot määräytyvät pääasiassa rakennusvuoden, pinta-alan ja asukasmäärän mukaan. Oletusarvoja voidaan kuitenkin muuttaa, mikäli tarkempia rakennusteknisiä tietoja on saatavilla. Näin edistyneempien käyttäjien on mahdollista saada laskennasta todemmukaisempia tuloksia. Tulosteena esitetään energiankulutuksen jakautuminen eri lähteisiin niin numeraalisesti kuin graafisestikin, mikä auttaa käyttäjää arvioimaan säästöpotentiaalia eri osa-alueilla.

Tutkimuksessa käytettiin esimerkikohdetta, omakotitaloa Tuusulassa, jonka toteutuneisiin energiankulutuksiin työn laskurin ja verrokkilaskureiden laskelmia verrattiin. Laskelmat tehtiin kahteen kertaan. Ensimmäisellä kerralla laskenta tehtiin syöttämällä laskureihin vain perustiedot. Tämä voisi vastata tilannetta, jossa ollaan harkitsemassa uuden asunnon ostoa, mutta rakenneratkaisuista ei ole tietoja. Toisessa laskentavaiheessa laskureihin syötettiin tietoja, jotka kuvaavat parhaiten todellista tilannetta. Tällöin voidaan ajatella tilannetta, jossa asunnossa on asuttu jo jonkin aikaa ja asukkailla on tieto tehdyistä peruskorjauksista sekä rakenneratkaisuista.

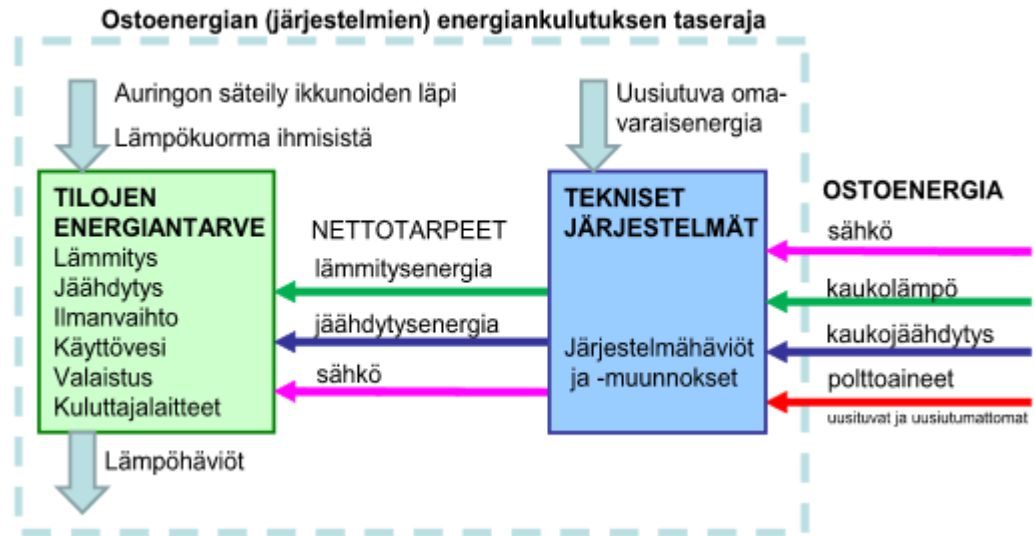
Energiankulutuslaskelmista saatujen tulosten pohjalta pohditaan sekä tutkimuksen energiankulutuslaskurin että verrokkilaskureiden tulosten todenmukaisuutta vertaamalla niitä esimerkikohteen toteutuneeseen kulutukseen. Tulosten analysoinnin jälkeen mietitään laskentaan vaikuttavia epätarkkuustekijöitä. Lopuksi pohditaan, onnistuttiinko laskuri pitämään yksinkertaisena, ja voiko sitä pitää helppokäyttöisenä, mutta kuitenkin luotettavana sekä mietitään sen jatkokehitystarvetta.

2. RAKENNUKSEN ENERGIAANKULUTUKSEN LASKENTAPERIAATTEET

Rakennuksen kokonaisenergiantarve muodostuu tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytystarpeesta, käyttöveden lämmitystarpeesta sekä näiden järjestelmien sähköenergiantarpeesta. Lisäksi siihen lasketaan valaistuksen ja kuluttajalaitteiden käyttämä sähköenergia (Ympäristöministeriö 2013, s. 12). Lämmitystarve on yhtä suuri kuin rakennuksen vaipan, ilmanvaihdon ja jäteveden kautta poistuva lämpö. Kun tästä energiamäärästä vähennetään rakennukseen tuleva auringon säteily, sisäiset lämpökuormat ja poistoilmasta talteen otettu lämpö, saadaan laskettua lämmitysenergian nettotarve. Tätä vastaava energia siirretään tiloihin, ilmanvaihtoon ja käyttöveteen lämmitysjärjestelmällä. Jäähdytysjärjestelmällä puolestaan tuodaan tiloihin ja tuloilmaan energiamäärä, joka vastaa rakennuksen jäähdytysenergian nettotarvetta. (Ympäristöministeriö 2013, s. 12)

Lämmitysenergian nettotarpeesta lasketaan lämmitysjärjestelmien energiankulutukset ottamalla huomioon järjestelmien hyötysuhteet, lämmitysenergian luovutuksesta, jakelusta ja varastoinnista aiheutuvat häviöt sekä lämmitysjärjestelmiin tuotettu uusiutuva omavaraisenergia. Omavaraisenergiaa ovat esimerkiksi itse tuotettu tuuli- ja aurinkoenergia. Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus lasketaan jäähdytysenergian nettotarpeesta samoin perustein. Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutukseen lasketaan laitteiden energiankulutuksien lisäksi tuloilman lämmitysenergia (Ympäristöministeriö 2013, s. 12).

Lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutus uusiutuva omavaraisenergia näistä vähennettynä muodostaa ostoenergian tarpeen. Kokonaisenergiankulutus eli E-luku lasketaan rakennuksen ostoenergiantarpeen ja energiamuodon kertoimen tulona ja jakamalla se nettopinta-alalla. Tässä työssä termiä *kokonaisenergiankulutus* käytetään kuvaamaan rakennukseen vuoden aikana tuotua energiamäärää. Energiankulutuksen muodostuminen on havainnollistettu kuvassa 1. (Ympäristöministeriö 2011a, s. 6) Energiamuodot ja niiden kertoimet on esitetty taulukossa 1. Kertoimet on päivitetty maankäyttö- ja rakennuslakiin 30.11.2017 ja ne tulivat voimaan 1.1.2018 (Ympäristöministeriö 2017).



Kuva 1. Kaavio rakennuksen ostoenergian muodostumisesta (Ympäristöministeriö 2011a, s. 6).

Taulukko 1. E-luvun laskennassa käytettävät energiamuotojen kertoimet (Ympäristöministeriö 2017).

Energiamuoto	Kerroin
sähkö	1,2
kaukolämpö	0,5
kaukojäähdytys	0,28
fossiiliset polttoaineet	1,0
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Rakennuksen energiankulutusta tarkastellaan yleisesti kolmella eri tasolla:

1. Tuntitason simulointi, jolla voidaan tarkastella esimerkiksi lämpötilojen ja ilmanvirtojen muutoksia tilassa.
2. Kuukausitason seuranta, jossa energiankulutus perustuu olettamukseen, että kuukauden aikana rakennuksesta poistuva energiamäärä vastaa rakennukseen tulevan energian määrää.
3. Vuositason seuranta, joka perustuu esimerkiksi lämmitystarvelukuun ja olettamukseen, että sisä- ja ulkolämpötilojen erotus on verrannollinen rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen.

2.1 Tuntitason seuranta

Rakennuksen energiankulutuksen tuntitason seuranta, eli dynaamista seuranta, simuloidaan 3D-mallipohjaisilla tietokoneohjelmilla. Simuloitava malli rakennuksesta sisältää kaikki olennaiset tiedot rakenteista, ikkunoista, ovista ja muista aukoista pinta-aloihin ja U-arvoihin. Lämmönlähteet ja ilmanvaihtoventtiilit mallinnetaan oikeille paikoilleen.

ja järjestelmien tiedot kirjataan ohjelmaan. Olennaisia tietoja ovat myös rakennuksen sijainti, ulkolämpötiladata, varjostus, auringon liike sekä sisäisten lämpökuormien suuruus. Laskentaan tarvitaan myös tietoa rakennuksen käyttötarkoituksesta, joka määrittelee muun muassa käyttöasteet ja -ajan.

Suomalaisen energialainsäädännön kanssa yhteensopivia energiankulutuksen tuntitason seurannan ohjelmia ovat esimerkiksi suomalaisen Granlund konsernin RIUSKA ja ruotsalaisen EQUA Simulation AB:n IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) (Mononen 2014, s. 5). Tässä tutkimuksessa energiankulutuksen dynaamisen seurannan esimerkkinä esitellään lyhyesti IDA ICE -ohjelman versio 4.5.

IDA ICE -ohjelma on tarkoitettu rakennuksen sisäilmaston, lämpötilan ja koko rakennuksen energiankulutuksen simulointiin (EQUA Simulation AB 2014). Simulointia varten ohjelmaan ladataan rakennuksen IFC-tietomalli (Industry Foundation Classes). Mallinnuksessa voidaan lisäksi käyttää erilaisia CAD- ja vektorigrafiikoita, joilla muodostetaan esimerkiksi rakennuksen ympäristön aiheuttamaa varjostusta. (EQUA Simulation AB 2013) Ohjelma soveltuu useimmille rakennustypeille ja sillä voidaan laskea (Delgado et al 2012):

- Alueellinen lämmön ja kosteuden jakautuminen huomioiden erityistekijät, kuten aurinko, käyttäjät, lämmitys- ja jäähdytyslaitteet, valaistus, kuluttajalaitteet, lämmön siirtyminen, ilmavuodot, kylmäsiilat ja huonekalut;
- Auringon säteily ikkunoista varjostavien rakennusten ja kasvillisuuden 3D-mallinnusta hyväksikäyttäen;
- Ilman ja pintojen lämpötiloja;
- Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamia ilmavirtoja, lämpötiloja, kosteutta, hiilidioksidimäärää ja ilmanpainetta valituissa tiloissa;
- Satunnaisesti käytettyjen tilojen lämpötiloja, esimerkiksi laitteiden ja lämpötilaltaan muusta tilasta poikkeavien pintojen välistä lämpösäteilyä;
- Tilakohtaista päivänvalon määrää;
- Ilman ja hiilidioksidin määrää sekä kosteustasoa, joiden avulla voidaan ohjata ilmanvaihtoa;
- Ilman lämpötilan kerrostumista korvausilmaventtiilijärjestelmissä;
- Tuulen ja nosteen aiheuttamia ilmavirtoja aukkojen ja rakojen, kuten ovien ja ikkunoiden läpi sekä huoneiden välillä;
- Järjestelmien laitteiden tehotasoja, energiankulutusta ja energiakustannuksia valituissa aikayksiköissä;
- Järjestelmien kokonaisenergiakustannuksia.

2.2 Kuukausitason seuranta

Energiankulutuksen kuukausitason seurannan laskentamenetelmänä voidaan käyttää rakentamismääräyskokoelman (jatkossa myös RakMk) D5:ssä esitettyä menetelmää. Se perustuu energiatasemenetelmään, jossa saman kuukauden aikana rakennuksen sisään tuleva energiamäärä on sama kuin rakennuksesta poistuva energiamäärä. Tämä energian

nettotarve lasketaan kalenterikuukausittain, jotka yhteenlaskettuna muodostavat vuosikulutuksen. Laskentaan käytettävät lähtötiedot muodostuvat rakennuskohtaisista lähtötiedoista, jotka ilmenevät yleensä rakennuksen suunnitelmista, rakennuksen käyttötiedoista sekä ohjeistuksessa annetuista ohjearvoista, joita voidaan käyttää, jos tarkempia tietoja ei ole käytettävissä. (Ympäristöministeriö 2013, s. 11)

Energian nettotarpeen laskentaan tarvitaan tieto rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta. Kokonaisenergiankulutuksen laskennassa käytetään niin sanottua standardikäyttöä eli energiankulutus lasketaan jokaiselle osa-alueelle ennalta määrätysti. Näitä ovat esimerkiksi lämmityksen ja jäähdytyksen asetusarvot, lämpimän käyttöveden määrä sekä ilmanvaihdon määrä ja käyntiajat. Laskennassa käytetään RakMk D3:n lukujen 3 ja 4 laskentasääntöjä sekä luvun 5 laskentamenetelmiä ja -työkaluja, jos energiatodistusasetus ei toisin määrää (Vuolle et al. 2016, s. 24). Kokonaisenergiankulutuksen laskennassa otetaan huomioon järjestelmien lämpöhäviöt ja hyötysuhteet. Lämpimän käyttöveden kierroon ja varastoinnin häviöt määritellään tilaan tulevana lämpökuormina. Muiden järjestelmien häviöt menevät laskennassa hukkaan eikä niistä muodostu lämpökuormia rakennukseen. (Ympäristöministeriö 2013, s. 11)

Rakennuksen ostoenergiankulutuksen laskennassa on käytettävä RakMk D3:ssa esitettyjä vakioituja lähtöarvoja. Näihin kuuluvat rakennuksen standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat, sisäilmasto-olosuhteet eli ilmanvaihdon ilmamäärät ja sisälämpötilat sekä lämpimän käyttöveden kulutus. Vakioidut lähtöarvot riippuvat rakennuksen käyttötarkoitukseluokasta, joita ovat muun muassa erilliset pien-, rivi- ja ketjutalot, asuinkerrostalot, toimistorakennukset sekä sairaalat. Kun ostoenergiankulutuksen laskennassa halutaan huomioida myös valaistus, on noudatettava rakentamismääräyskokoelma D3:n kohdan 3 määräyksiä, joissa valaistukselle annetaan käyttötarkoitukseluokkakohtainen lämpökuorma. (Vuolle et al. 2016, s. 24)

2.3 Vuositason seuranta

Rakennuksen vuositason energiankulutuksen seuranta perustuu osa-alueiden (kuva 1, tilojen energiantarve) kulutuksien standardisointiin. Tällöin lämmitysenergiankulutuksen voidaan katsoa olevan verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen, jolloin laskennassa hyödynnetään lämmitystarvelukua. Käyttöveden lämmityksen sekä ilmanvaihdon ja sähkölaitteiden kuluttaman energian laskentaan voidaan käyttää RakMk D3:n käyttötarkoitukseluokkakohtaisia nettoneliömääriin pohjautuvia suunnitteluarvoja.

2.3.1 Lämmitystarveluku

Lämmitystarveluku, aiemmin astepäiväluku, on normeeraus, joka helpottaa rakennuksen energiankulutuksen vertailua eri kuukausina tai vuosina. Se mahdollistaa myös kulutusvertailun eri paikkakunnilla sijaitsevien rakennusten välillä. Sen käyttö lämmitystarpeen

arvioinnissa perustuu energiankulutuksen likimain suoraan verrannollisuuteen sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen. (Ilmatieteenlaitos 2017) Näin ollen lämmitystarveluku lasketaan jokaiselle vuorokaudelle rakennuksen sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Yleisimmin käytössä on lämmitystarveluku $S17 [K \cdot d]$, jolloin sisälämpötilaksi oletetaan $+17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tämän ja todellisen sisälämpötilan välisen lämmitysenergian oletetaan tulevan sisäisistä lämmönlähteistä, kuten ihmisistä, valaistuksesta ja kuluttajalaitteista sekä auringon säteilystä. (Rakennustietosäätiö 2014)

Laskemalla mittauspaikan kuukauden jokaisen vuorokauden lämmitystarveluvut yhteen saadaan kyseisen kuukauden lämmitystarveluku. Vastaavasti laskemalla kuukausittaiset luvut yhteen saadaan vuotuinen lämmitystarveluku. Sitä laskettaessa ei kuitenkaan oteta huomioon vuorokausia, joiden keskilämpötila ylittää keväällä $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja syksyllä $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ilmatieteenlaitos 2017). Lämmitystarveluku on siis sitä suurempi, mitä kylmempi ulkona on.

Ilmatieteenlaitos laskee lämmitystarveluvun kuukausittain 16 paikkakunnalle. Nämä niin sanotut vertailupaikkakunnat on esitetty taulukossa 2. Samassa taulukossa on myös esitetty kuukausittaiset ja koko vuoden lämmitystarveluvut vuosien 1981–2010 keskiarvoina. (Ilmatieteenlaitos 2017)

Taulukko 2. 16 vertailupaikkakuntaa ja niiden lämmitystarveluvun $S17 [K \cdot d]$ vertailuarvo vuosilta 1981–2010 kuukausittain ja koko vuodelle (Ilmatieteenlaitos 2017).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	592	567	551	406	216	34	3	17	135	308	432	542	3803
Vantaa	682	640	586	376	146	16	2	21	158	348	497	625	4097
Helsinki	647	612	566	383	153	11	1	12	125	316	464	588	3878
Pori	677	633	585	389	181	26	3	25	171	352	497	622	4161
Turku	663	625	575	377	161	19	2	18	149	338	486	608	4021
Tampere	724	675	612	400	176	28	5	34	192	382	529	667	4424
Lahti	726	677	610	395	159	20	4	31	191	383	528	668	4392
Lappeenranta	759	699	621	403	165	22	5	28	184	386	546	692	4510
Jyväskylä	785	721	646	440	206	40	10	56	227	414	569	718	4832
Vaasa	719	666	619	424	214	29	5	35	192	377	526	663	4469
Kuopio	812	741	653	445	198	31	7	38	194	400	571	735	4825
Joensuu	826	753	665	456	216	39	10	47	215	416	589	752	4984
Kajaani	864	777	695	479	251	57	17	75	245	441	618	785	5304
Oulu	824	742	677	465	249	47	9	55	224	423	593	749	5057
Sodankylä	946	838	760	548	345	106	49	136	316	523	722	891	6180
Ivalo	923	819	755	557	377	146	69	147	318	523	722	875	6231

Vertaamalla yksittäisen kuukauden tai vuoden lukuja taulukon 2 lukuihin voidaan päätellä, onko kyseinen ajanjakso ollut keskimääräistä kylmempi vai lämpimämpi. Vertailuesimerkkinä on taulukko 3, jossa on esitetty vuoden 2016 lämmitystarveluvut. Voidaan todeta, että vuoden 2016 tammikuu oli kaikilla vertailupaikkakunnilla tavanomaista kylmempi. Muut kevättalven kuukaudet sen sijaan olivat vertailuajanjaksoa lämpimämpiä. Kesäkuukausien lämmitystarveluvut olivat melko lähellä vertailuarvoja. Syys- ja joulukuussa oli keskimääräistä lämpimämpää. Vuositasolla lämmitystarveluku oli pienempi kaikilla mittauspisteillä. Suurin ero oli Ivalossa (-694) ja pienin Lahdessa (-217) keskiarvon ollessa -366.

Taulukko 3. Vertailupaikkakuntien S17 lämmitystarveluvut tammi-joulukuulta vuonna 2016 (Ilmatieteenlaitos 2017).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	663	486	481	382	132	30	0	10	57	326	459	469	3495
Vantaa	847	510	526	365	7	16	0	0	65	384	541	556	3817
Helsinki	800	483	501	365	0	0	0	0	59	350	510	521	3589
Pori	807	516	510	381	48	15	0	5	70	391	524	540	3807
Turku	808	510	512	372	32	14	0	0	76	383	524	541	3772
Tampere	884	539	542	393	38	42	0	16	137	418	558	588	4155
Lahti	923	537	546	377	47	34	5	12	143	412	553	586	4175
Lappeenranta	969	553	561	376	23	37	6	12	125	415	582	609	4268
Jyväskylä	981	570	574	405	63	62	17	31	181	447	594	615	4540
Vaasa	842	564	527	408	114	27	0	28	104	409	548	553	4124
Kuopio	987	577	579	399	41	53	0	14	138	415	597	636	4436
Joensuu	1030	584	587	362	44	71	0	34	173	433	617	653	4588
Kajaani	999	608	593	409	80	67	0	50	201	445	639	693	4784
Oulu	943	605	583	416	145	61	0	58	185	426	603	657	4682
Sodankylä	1087	676	651	478	216	90	0	113	252	475	694	810	5542
Ivalo	1054	696	644	483	224	139	11	142	254	468	667	755	5537

Energiankulutuksen normeeraus lämmitystarveluvuilla koskee vain tilojen lämmitystä, koska käyttöveden lämmitysenergiankulutus ei juurikaan riipu ulkolämpötilasta. Normeeraukseen voidaan käyttää neljää eri kaavaa:

Saman rakennuksen energiankulutuksen vertailuun eri ajanjaksoina käytetään kaavaa (Rakennustietosäätiö 2014)

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut} \text{ vpkunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lämmön käyttövesi} \quad (1)$$

jossa Q_{norm} tarkoittaa rakennuksen normitettua lämmitysenergian kulutusta, $Q_{toteutunut}$ rakennuksen tilojen lämmitykseen kulunutta energiaa, $Q_{lämmön käyttövesi}$ lämpimän käyttöveden energiankulutusta, $S_{N\ vpkunta}$ vertailupaikkakunnan vuoden tai kuukauden lämmitystarveluvun vertailuarvoa 1981...2010 ja $S_{toteutunut\ vpkunta}$ vertailupaikkakunnan vuoden tai kuukauden toteutunutta lämmitystarvelukua.

Kun verrataan kahden eri puolilla Suomea sijaitsevan rakennuksen lämmitysenergian ominaiskulutuksia, normitetaan ne yleensä Jyväskylään, joka on valittu valtakunnalliseksi vertailupaikkakunnaksi. Tämä tehdään kaavalla (Rakennustietosäätiö 2014)

$$Q_{norm} = k_2 \cdot \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lämmön\ käyttövesi} \quad (2)$$

jossa k_2 on paikkakuntaakohtainen korjauskerroin Jyväskylään. Muut muuttujat ovat samoja kuin kaavassa 1.

Verrattaessa kahden samalla alueella, eri paikkakunnissa olevan rakennuksen kulutusta normeerataan nämä niitä lähimpään vertailupaikkakuntaan kaavalla (Rakennustietosäätiö 2014)

$$Q_{norm} = k_1 \cdot \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lämmön\ käyttövesi} \quad (3)$$

jossa k_1 on paikkakuntaakohtainen korjauskerroin lähimpään vertailupaikkakuntaan. Muut muuttujat ovat samoja kuin kaavassa 1.

Jos rakennuksessa on automaatiojärjestelmä, joka laskee kiinteistökohtaisen toteutuneen lämmitystarveluvun, voidaan rakennuksen ominaiskulutus laskea tarkemmin kaavalla (Rakennustietosäätiö 2014)

$$Q_{norm} = \frac{1}{k_1} \cdot \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ kunta}} \cdot Q_{toteutunut} + Q_{lämmön\ käyttövesi} \quad (4)$$

jossa $S_{toteutunut\ kunta}$ on automaatiojärjestelmän laskema toteutunut lämmitystarveluku. Muut muuttujat ovat samoja kuin edellisissä kaavoissa.

Käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia ei siis normiteta, koska se ei juurikaan riipu ulkolämpötilasta. Sillä on kuitenkin merkittävä osa kokonaislämmitysenergian kulutuksessa. Kun lämpimän käyttöveden energiankulutusta ei ole suoraan saatavilla, voidaan se laskea vedenkulutuksen perusteella. Jos lämpimän käyttöveden määrää ei ole mitattu erikseen, oletetaan sen olevan 40 % asuinrakennuksen veden kokonaiskulutuksesta. Mikäli veden kokonaiskulutustakaan ei ole mitattu, oletetaan lämpimän käyttöveden määräksi asuinrakennuksissa 0,6 m³/brm² vuodessa tai 50 l/asukas vuorokaudessa (Ympäristöministeriö 2013).

2.3.2 Esimerkkejä vuositasen laskureista

Selaimessa toimivia energiankulutuslaskureita tarjoavat esimerkiksi sähköyhtiöt Kymppivoima Oy, Oulun Energia Oy ja Lumme Energia Oy (Energiankulutuslaskuri; Sähkö-Tohtori; Kodin energialaskuri). Laskurit on tarkoitettu kotitalouksien sähkönkulutuksen arviointiin, eivätkä näin ollen sovellu kokonaisenergiankulutuksen arviointiin, jos lämmitysmuotona on esimerkiksi kaukolämpö tai öljy. Lämmitysenergian tarvetta voidaan kuitenkin arvioida jokaisessa asettamalla lämmitysmuodoksi sähkö. Laskurit esittävät laskennan tuloksena vuotuisen energiankulutuksen jakautumisen eri osa-alueille, kuten lämmitys, ilmanvaihto, käyttövesi ja sähkölaitteet, sekä antavat arvion näiden kustannuksista.

Motiva Oy tarjoaa internet-sivuillaan laskuria lämmitysenergiankulutuksen laskentaan ja eri lämmitysmuotojen vertailuun. Se ei kuitenkaan anna arviota käyttöveden lämmitykseen ja sähkölaitteisiin kuluvaan energiasta. (Motiva 2017)

Ensiksi mainitut sähköyhtiöiden energiankulutuslaskurit pyytävät käyttäjältä rakennuksen perustietoja, kuten rakennustyyppin, pinta-alan, asukasmäärän ja rakennus- sekä peruskorjausvuoden. Näiden perusteella laskurit ilmoittavat vastaavan talouden tyypillisen vuotuisen energiankulutuksen. Käyttäjä voi myös tarkentaa syötettyjä tietoja, kuten lisälämmitysmahdollisuuden takalla tai ilmalämpöpumpulla, lämpimän käyttöveden kulutuksen tai kuluttajasähkölaitteiden määriä ja käyttöä. Luvussa 3 verrataan edellä esitellyjen energiankulutuslaskureiden tuloksia sekä kandidaatintyön laskuriin että esimerkkikohteen toteutuneeseen kulutukseen.

Selainpohjaisten vertailulaskurien käyttö on helppoa: riittää, että käyttäjä täyttää ruutuihin pyydettyt tiedot ja laskuri kertoo arvion energiankulutuksesta. Jos johonkin ruutuun ei osaa vastata, sen voi jättää tyhjäksi, ja kyseisen kohdan laskenta suoritetaan vastaavan talouden tyypillisillä arvoilla. Samanlaiseen käytön helppouteen pyrittiin myös tutkimuksen laskurissa. Kuvassa 2 on näkymä Kymppivoima Oy:n Energiankulutuslaskurin perustiedot-välilehdeeltä.

1. PERUSTIEDOT



Omakotitalo /
Paritalo



Rivitalo



Kerrostalo

Asuinneliöt 0 m²
Henkilömäärä 1

Puolilämpimät tilat 0 m² ?

Rakennusvuosi 2010 alkaen

Peruskorjausvuosi Ei peruskorjattu ?

Edellinen
Perustiedot 1 / 4
Seuraava

2. ASUNNON LÄMMITYS
3. KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYS
4. KOTITALOUSSÄHKÖ

Vuosikulutuksesi

0 kWh

0 EUR ?

Vastaavan talouden vuosikulutus (ka)

0 kWh

0 EUR ?

Kuva 2. Näkymä eräästä tutkimuksen vertailussa käytetystä selainpohjaisesta energiankulutuslaskurista (Energiankulutuslaskuri).

3. LASKENTAMALLI JA EXCEL-LASKURI

Laskentamallin pohjana käytettiin rakentamismääräyskokoelman D3:n tasauslaskinta vuodelta 2012. Tasauslaskimeen syötetään rakennuksen laajuustiedot, rakennusosien pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot, vaipan ilmavuotomäärät sekä ilmanvaihdon tehokkuus. Laskennat tehdään erikseen lämpimille ja puolilämpimille tiloille. Tuloksena laskin kertoo, täyttääkö rakennus määräysten mukaiset ominaislämpöhäviöt sekä yksittäisten rakennusosien osalta että kokonaisuutena (Ympäristöministeriö 2011b). Tämän tutkimuksen yksinkertaistettu laskenta käsittelee ainoastaan lämpimiä tiloja, eikä ota kantaa määräysten täyttymiseen. Edellä mainittujen lämpöhäviöiden lisäksi tutkimuksen laskuri arvioi käyttöveden lämmitykseen kuluva sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen käyttämän energian.

3.1 Laskentamalli

Rakennuksen pinta-ala- ja tilavuustietojen sekä asukasluvun ja rakennusvuoden perusteella kandidaatintyön Excel-laskuri jakaa rakennuksen energiankulutuksen viidelle eri osa-alueelle, jotka ovat:

1. Rakennusosien lämpöhäviöt,
2. Vaipan ilmavuodot,
3. Ilmanvaihto,
4. Lämmin käyttövesi sekä
5. Valaistus ja kuluttajalaitteet.

Laskennassa käytetyt kaavat on esitetty seuraavissa alaluvuissa.

3.1.1 Rakennusosien lämpöhäviöt

Rakennusosien kautta poistuvan lämpöenergian laskentaan tarvitaan pinta-alatietoja. Yksinkertaistamisen ja laskurin käytön helppouden takia rakennusosien pinta-alojen laskentaan on jouduttu tekemään seuraavia oletuksia:

- Alapohjan pinta-ala saadaan jakamalla lämmitetty rakennusala kerrosten lukumäärällä.
- Yläpohja on samankokoinen kuin alapohja.
- Yli 1-kerroksisen talon kaikki kerrokset ovat pohjapinta-alaltaan yhtä suuria.
- Ulkoseinät ovat 80 % vaipan pinta-alasta, ikkunat 15 % ja ulko-ovet sekä tuuletusluukut 5 %.

Vaipan pinta-alan määrittämiseen lämmitetyn pinta-alan ja kerroslukumäärän perusteella tehtiin oletus, että rakennus on muodoltaan suorakaide, jossa lyhyemmän sivun pituuden

suhde pidempään on 2:3. Lisäksi huone- ja kerrokorkeus on sama joka kerroksessa. Vaipan pinta-alan laskennan vaiheet 1–6 on esitetty kaavoissa 5–10.

1. Kerroksen lattiapinta-ala:

$$A_{\text{kerros}} = \frac{A_{\text{lämmit.}}}{N_{\text{kerros}lkm.}} \quad (5)$$

jossa A_{kerros} on yhden kerroksen lämmitettävä lattiapinta-ala, $A_{\text{lämmit.}}$ on rakennuksen lämmitettävä lattiapinta-ala ja $N_{\text{kerros}lkm.}$ on rakennuksen lämmitettyjen kerrosten lukumäärä.

2. 2:3-suorakaiteen pinta-alan ja sivun suhde:

$$A_{\text{kerros}} = 2L \cdot 3L \rightarrow L = \sqrt{\frac{A_{\text{kerros}}}{6}} \quad (6)$$

jossa L on muuttuja, joka kuvaa sivujen pituuksien suhteita.

3. Lyhyemmän sivun seinän pinta-ala:

$$A_{\text{lyhyempi sivu}} = 2L \cdot h_{\text{kerrokorkeus}} \quad (7)$$

jossa $A_{\text{lyhyempi sivu}}$ on rakennuksen lyhyemmän julkisivun pinta-ala yhden kerroksen korkeudelta ja $h_{\text{kerrokorkeus}}$ on etäisyys lattiapinnasta seuraavan kerroksen lattiaan mitattuna. Kerrokorkeus ei aina ole tiedossa, joten tässä sen laskentaan käytetään helpommin mitattavaa huonekorkeutta, johon lisätään välipohjan oletettu paksuus 30 cm.

4. Pidemmän sivun seinän $A_{\text{pidempi sivu}}$ pinta-ala yhden kerroksen korkeudelta:

$$A_{\text{pidempi sivu}} = 3L \cdot h_{\text{kerrokorkeus}} \quad (8)$$

5. Yhden kerroksen vaipan pinta-ala ilman ala- ja yläpohjaa $A_{\text{vaippa,kerros}}$:

$$A_{\text{vaippa,kerros}} = 2 \cdot A_{\text{lyhyempi sivu}} + 2 \cdot A_{\text{pidempi sivu}} \quad (9)$$

6. Koko rakennuksen vaipan pinta-ala A_{vaippa} (ilman ylä- ja alapohjaa) saadaan yhdistämällä kaavat 5–9:

$$\begin{aligned} A_{\text{vaippa}} &= A_{\text{vaippa,kerros}} \cdot N_{\text{kerros}lkm.} \\ &= (2 \cdot A_{\text{lyhyempi sivu}} + 2 \cdot A_{\text{pidempi sivu}}) \cdot N_{\text{kerros}lkm.} \\ &= \left(2 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{kerros}}}{6}} \cdot h_{\text{kerrokorkeus}} + 2 \cdot 3 \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{kerros}}}{6}} \right. \\ &\quad \left. \cdot h_{\text{kerrokorkeus}} \right) \cdot N_{\text{kerros}lkm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 10 \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{l\ae mmit.}}}{6 \cdot N_{\text{kerroslkm.}}}} \cdot h_{\text{kerroslkorkeus}} \cdot N_{\text{kerroslkm.}} \\
&= 10 \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{l\ae mmit.}} \cdot N_{\text{kerroslkm.}}}{6}} \cdot h_{\text{kerroslkorkeus}}
\end{aligned} \tag{10}$$

Kandidaatin työssä k\ae ytetyt rakennusosien pinta-alojen laskentaperusteet on ker\ae tty taulukkoon 4. Rakennuksen muotoon tehtyjen oletusten ansiosta pinta-alat voidaan m\ae arittaa vain kolmen muuttujan $A_{\text{l\ae mmit.}}$, $N_{\text{kerroslkm.}}$ ja $h_{\text{kerroslkorkeus}}$ avulla.

Taulukko 4. Rakennusosien pinta-alojen laskentaan tehtyt yksinkertaistukset.

Rakennusosa	Pinta-ala
Vaippa (ilman ylä- ja alapohjaa)	$A_{\text{vaippa}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{A_{\text{l\ae mmit.}} \cdot N_{\text{kerroslkm.}}}{6}} \cdot h_{\text{kerroslkorkeus}}$
Alapohja	$A_{\text{alapohja}} = \frac{A_{\text{l\ae mmit.}}}{N_{\text{kerroslkm.}}}$
Yläpohja	$A_{\text{yl\ae pohja}} = A_{\text{alapohja}}$
Ulkoseinät	$A_{\text{ulkosein\ae t}} = 0,8 \cdot A_{\text{vaippa}}$
Ikkunat	$A_{\text{ikkunat}} = 0,15 \cdot A_{\text{vaippa}}$
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	$A_{\text{ovet}} = 0,05 \cdot A_{\text{vaippa}}$

Rakennusosien ominaisl\ae mp\ae h\ae vi\ae iden laskentaan tarvitaan niiden pinta-alat ja U-arvot. Rakennusosat on jaettu ulkoseiniin, yläpohjaan, ikkunoihin, ulko-oviin ja tuuletusluukkuihin sek\ae alapohjiin, joita ovat ulkoilmaan rajoittuva, ry\ae mint\ae tilaan rajoittuva ja maanvastainen alapohja. Ominaisl\ae mp\ae h\ae vi\ae t lasketaan kaavalla (Ymp\ae ristol\ae minist\ae ri\ae 2011a, s. 12)

$$H_{\text{joht},i} = A_i \cdot U_i \tag{11}$$

jossa $H_{\text{joht},i}$ on yksitt\ae isen rakennusosan ominaisl\ae mp\ae h\ae vi\ae i\ae [W/K], A_i rakennusosan pinta-ala [m^2] ja U_i rakennusosan l\ae mmonl\ae p\ae isykerroin eli U-arvo [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]. Rakennusosien yhteenlaskettu ominaisl\ae mp\ae h\ae vi\ae i\ae H_{joht} [W/K] saadaan laskemalla yhteen alapohjan, yläpohjan, ulkoseini\ae n, ikkunoiden sek\ae ovien ja tuuletusluukkujen ominaisl\ae mp\ae h\ae vi\ae i\ae t (Ymp\ae ristol\ae minist\ae ri\ae 2011a, s. 12)

$$\begin{aligned}
H_{\text{joht}} &= H_{\text{joht,alapohja}} + H_{\text{joht,yl\ae pohja}} + H_{\text{joht,ulkosein\ae}} + H_{\text{joht,ikkunat}} + \\
&H_{\text{joht,ovet ja tuuletusluukut}}
\end{aligned} \tag{12}$$

Rakennusosien kautta poistuva vuotuinen ominaisl\ae mp\ae h\ae vi\ae i\ae energia Q_{joht} [kWh] lasketaan l\ae mmitystarveluvun avulla kaavalla (Ymp\ae ristol\ae minist\ae ri\ae 2013, s. 16 soveltaen)

$$Q_{joht} = \frac{H_{joht} \cdot S_{17} \cdot 24}{1000} \quad (13)$$

jossa S_{17} paikkakuntakohtainen lämmitystarveluku koko vuodelle [K·d], 24 tuntien lukumäärä vuorokaudessa [h/d] ja 1000 muuntokerroin wateista kilowateiksi [W/kW].

Rakennusajankohdalla on vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen. Ohjearvoperusteissa laskennassa, kuten tämän työn kohdalla, se vaikuttaa voimassa olleiden rakentamismääräysten mukaisesti rakenteiden U-arvoihin ja tämän myötä ominaislämpöhäviöihin. Rakennusajankohdalla on laskennassa vaikutus myös vaipan ilmanvuotojen ominaislämpöhäviöihin sekä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhteeseen (vuodesta 2003 eteenpäin). Kuvassa 3 on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjearvot eri rakenteiden lämmönläpäisykertoimille vuodesta 1969 asti. Kuvassa 4 on ilmanvuotoluvut ja kuvassa 6 ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosisuhteita samoilla ajanjaksoilla.

Rakennusosa	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17*	0,17*
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26*	0,26*
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

* Taulukkoarvoja käytettäessä hirsi- ja massiivipuuseinien U-arvona käytetään vuoden 2010 jälkeen lämpimien tilojen osalta 0,4 W/m²K ja puolilämpimien tilojen osalta 0,6 W/m²K.

Kuva 3. Rakennusosien ohjeelliset U-arvot [W/m²,K] kunakin vuonna voimaan tulleen määräyksen mukaan (Ympäristöministeriö 2017).

3.1.2 Ilmavuotojen lämpöhäviöt

Ilmavuotojen lämpöhäviöiden laskemiseen tarvitaan rakennusvaipan ilmavuotolukua q_{50} [$\text{m}^3/\text{h}, \text{m}^2$]. Uudisrakennuksen rakennusvaipan ilmavuotolukuna käytetään suunnitteluarvoa, joka on esitetty energiaselvityksessä. Olemassa olevan rakennuksen rakennusvaipan ilmavuotoluku voidaan määrittää suunnitelmista, ajantasaisista rakennuksen asiakirjoista tai mittaamalla. Jos tietoa ilmanvuotoluvusta ei ole saatavilla tai sitä ei ole voitu määrittää edellä mainituilla tavoilla, voidaan lukuarvona käyttää kuvan 4 arvoja. (Ympäristöministeriö 2017).

Ennen vuonna 2012 voimaan tulleita rakentamismääräyksiä on rakennuksen ilmanpitävyys esitetty rakennuksen ilmavuotoluvuilla n_{50} [1/h] (yksikköä tunnissa). Luku kuvaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonais-sisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennuksen ilmanvuotoluvut on esitetty kuvassa 4.

Rakennusluvan vireilletulovuosi	- 1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50}	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	4,0	4,0	4,0	
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50}									4,0

Kuva 4. Rakennuksen (vuodesta 2012 eteenpäin rakennusvaipan) ilmanvuotolukuja eri vuosien määräysten mukaisesti (Ympäristöministeriö 2017).

Rakennuksen ilmanvuotoluku (n_{50}) voidaan muuttaa rakennusvaipan ilmanvuotoluvuksi (q_{50}) kaavalla (Ympäristöministeriö 2013, s.19)

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad (14)$$

jossa A_{vaippa} on rakennusvaipan pinta-ala ylä- ja alapohja mukaan lukien [m^2] ja V rakennuksen tilavuus [m^3]. Rakennusvaipan ilmavuotoluvun ja pinta-alan sekä kerroslukumäärän perusteella voidaan laskea vuotoilmavirta kaavalla (Ympäristöministeriö 2011a, s. 23)

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x_k} A_{vaippa} \quad (15)$$

jossa $q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirta [m^3/s], x_k kerroslukumäärästä riippuva kerroin ja 3600 kerroin muutettaessa ilmavirran yksikkö m^3/h yksikköön m^3/s . Kertoimen x_k arvot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Vuotoilmavirran laskennassa käytettävän keroimen x_k arvot eri kerroslukumäärillä kerroskorkeuden ollessa noin 3 metriä (Ympäristöministeriö 2011a, s. 23).

Kerroslukumäärä	Kertoimen x_k arvo
1	35
2	24
3	20
4	20
5 tai enemmän	15

Yhdistämällä kaavat 14 ja 15 voidaan laskea rakennuksen ilmapuodon lämpöhäviöt kaavalla (Ympäristöministeriö 2011a, s. 14)

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad (16)$$

jossa $H_{vuotoilma}$ on vuotoilman ominaislämpöhäviö [W/K], ρ_i ilman tiheys [1,2 kg/m³] ja c_{pi} ilman ominaislämpökapasiteetti [1000 J/kg·K]. Vuotuinen vaipan ilmanvuotojen aiheuttama ominaislämpöhäviöenergia $Q_{vuotoilma}$ [kWh] voidaan laskea lämmitystarveluvun luvun avulla kaavan 13 tapaan (Ympäristöministeriö 2013, s. 19 soveltaen)

$$Q_{vuotoilma} = \frac{H_{vuotoilma} \cdot S \cdot 17 \cdot 24}{1000}. \quad (17)$$

3.1.3 Ilmanvaihdon lämpöhäviöt

Rakennuksen ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla (Ympäristöministeriö 2011a, s. 14)

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d t_v (1 - \eta_a) \quad (18)$$

jossa Q_{iv} on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö [W/K], $q_{v,poisto}$ standardikäytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta [m³/s], t_d ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde [h/24], t_v ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde [vrk/7 vrk] ja η_a rakennusvuodesta riippuvainen lämmöntalteenottolaitteiston laskennallinen hyötysuhde. Käyttötarkoitukseluokkoittaiset käyntiaikasuhteet t_d ja t_v on esitetty kuvassa 5. Hyötysuhteet on esitetty kuvassa 6. Poistoilmavirran $q_{v,poisto}$ arvona voidaan käyttää 0,5 l/h, jolloin rakennuksen sisäilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa (Ympäristöministeriö 2011c). Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöenergia Q_{iv} [kWh] voidaan laskea soveltamalla kaavoja 13 ja 17 (Ympäristöministeriö 2013, s. 21 soveltaen)

$$Q_{iv} = \frac{H_{iv} \cdot S \cdot 17 \cdot 24}{1000}. \quad (19)$$

Käyttötarkoitusluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset ^a
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Kuva 5. Energialaskennassa käytettävät standardiarvot lämpökuormille sekä käyttöajoille ja -asteille (Ympäristöministeriö 2011a)

Rakennusluvan vireilletulo vuosi	- 1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-	2018-
Vuosihiyösuhte	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	30 %	30 %	45 %	45 %	55 %

Kuva 6. Rakentamismääräyksissä määritetyt ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihiyösuhteet (Ympäristöministeriö 2017).

3.1.4 Käyttöveden lämmityksen energiankulutus

Asuinrakennuksessa käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energian voidaan katsoa olevan suoraan verrannollinen asukasmäärään. Laskennallisena kulutuksena voidaan asuinrakennuksessa käyttää 50 dm³/asukas vuorokaudessa (Ympäristöministeriö 2013, s. 24). Käyttöveden lämmitykseen kuluva energia lasketaan kaavalla (Ympäristöministeriö 2013, s. 24)

$$Q_{lkv} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 - Q_{lkv,LTO} \quad (20)$$

jossa Q_{lkv} on lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve [kWh], ρ_v on veden tiheys [1000 kg/m³], c_{pv} veden ominaislämpökapasiteetti [4,2 kJ/kg,K] ja V_{lkv} lämpimän käyttöveden kulutus [m³]. T_{lkv} on lämpimän käyttöveden lämpötila [°C], T_{kv} kylmän käyttöveden lämpötila [°C], 3600 kerroin sekunneista tunniksi [s/h] ja $Q_{lkv,LTO}$ energia, joka on otettu talteen jäteveden lämmöntalteenotosta ja hyväksikäytetty käyttöveden lämmityksessä. $Q_{lkv,LTO}$ voidaan kuitenkin tässä yksinkertaistuksessa jättää huomiotta. Lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilaerona käytetään arvoa 50 °C (Ympäristöministeriö 2013). Lämpimän käyttöveden kulutus vuodessa lasketaan standardikäytön ja asukasluvun tulona kaavalla (Ympäristöministeriö 2013, s. 25)

$$V_{lkv} = V_{lkv,asukas} N_{asukasluku} \cdot 365/1000 \quad (21)$$

jossa $V_{lkv,asukas}$ on yhden asukaan vuorokaudessa kuluttama lämmin käyttövesi (vakioitu 50 dm^3), $N_{asukasluku}$ rakennuksessa vakituisesti asuvien henkilöiden määrä, 365 kerroin vuorokausista vuodeksi [d/a] ja 1000 muutoskerroin [dm^3/m^3].

3.1.5 Sähkölaiteiden energiankulutus

Rakennuksen ominaislämpöhäviöiden ja käyttöveden lämmitysenergian lisäksi tutkimuksessa huomioidaan valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutus. Nämä lasketaan rakentamismääräyskokoelma D3:n standardikäytön lämpökuormilla, joka valaistukselle on 8 W/m^2 ja kuluttajalaitteille 3 W/m^2 . Näiden sähkönkulutus katsotaan yhtä suureksi niiden lämpökuormien kanssa. Sähkölaiteiden vuotuinen sähköenergiantarve $W_{\text{valaistus ja laitteet}}$ [kWh/m^2] lasketaan kaavalla (Ympäristöministeriö 2011a, s. 19)

$$W_{\text{valaistus ja laitteet}} = Q_{\text{valaistus ja laitteet}} = (k_v P_v + k_l P_l) t_d t_v \frac{8760}{1000} \quad (22)$$

jossa $Q_{\text{valaistus ja laitteet}}$ on sähkölaiteiden vuotuinen lämpökuorma lämmitettyä kerrosalaa kohden [kWh/m^2], k_v on valaistuksen käyttöaste, k_l kuluttajalaitteiden käyttöaste, P_v valaistuksen lämpökuorma [W/m^2], P_l kuluttajalaitteiden lämpökuorma [W/m^2], 8760 tunnin määrä vuodessa ja 1000 muuntokerroin wateista kilowateiksi. Käyttötarkoitukseluokakohtaiset arvot käyttöasteille ja lämpökuormille on esitetty taulukossa 8.

Laskemalla kaavat 13, 17, 19, 21 ja 22 yhteen, saadaan rakennuksen vuotuinen kokonais-energiankulutus E_{kok} [kWh] kaavalla

$$E_{\text{kok}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} + Q_{\text{lkv}} + W_{\text{valaistus ja laitteet}} \cdot \quad (23)$$

3.2 Excel-laskurin käyttö

Laskurin käyttö aloitetaan täyttämällä rakennuskohtaiset tiedot niille osoitettuihin soluihin. Tarvittavia tietoja ovat:

- Lämmitetty nettorakennusala [m^2],
- Kerroskorkeus [m],
- Kerroslukumäärä ja
- Rakennusvuosi.

Lämmitetyn rakennusalan ja kerroskorkeuden avulla lasketaan lämmitetty nettorakennustilavuus [m^3]. Lisäksi tarvitaan tiedot asukasluvusta ja lähimmästä lämmitystarveluvun vertailukaupungista. Rakennusvuosi ja lähin vertailukaupunki valitaan alasvetovalikoista. Käyttäjä syöttää tietonsa vihreisiin ruutuihin. Keltaiset ruudut suorittavat lasken-

taa käyttäjän syöttämien tietojen pohjalta, mutta myös niiden muokkaaminen on mahdollista. Ohjeet laskimen käyttöön sijaitsee lähtötietotaulukon alapuolella ja ne saa näkyviinsä viemällä hiiren tämän ruudun päälle. Lähtötietotarpeet on esitetty kuvassa 7.

Rakennuksen tiedot		Muut tiedot	Versio	12.1.2018
Lämmitetty rakennusala [m2]	250 m ²	Asukasluku	2 kpl	
Huonekorkeus [m]	2,3 m			
Rakennustilavuus [m3]	575 m ³			
Kerroslukumäärä	2 kpl	Lähin kaupunki	Vantaa	
Rakennusvuosi	-1969	Lämmitystarveluku s17	4097 K*d	
OHJEET				
lue ensin				

Kuva 7. Näkymä Excel-laskurin lähtötietojen syöttämisestä.

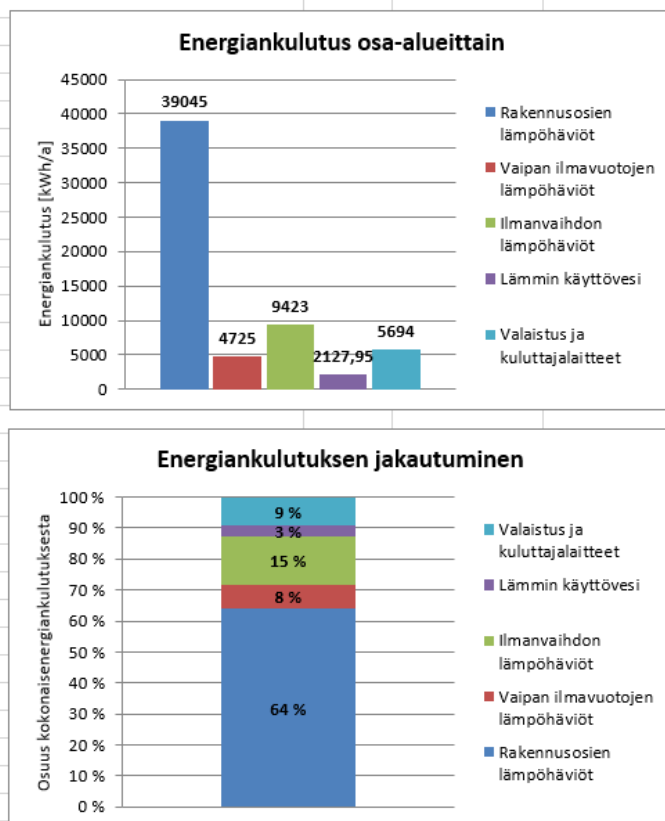
Kun lähtöarvot on syötetty, esittää laskuri energiankulutuksen jakautumisen alaluvussa 3.1 esitetyn jaon mukaan sekä kokonaiskulutuksena [kWh] että lämmitettyä nettoalaa kohden [kWh/m²] ja kertoo osa-alueen osuuden kokonaiskulutuksesta [%]. Tämä vaihe on esitetty kuvassa 8.

OHJEET				
lue ensin				
RAKENNUSOSAT	Näytä			
Energiankulutus rakennusosien ominaislämpöhäviöistä	39045 kWh			
per rakennusala	156,18 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	64 %	
VAIPAN ILMAVUODOT	Näytä			
Energiankulutus vaipan ilmapuottojen ominaislämpöhäviöistä	4725 kWh			
per rakennusala	18,90 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	8 %	
ILMANVAIHTO	Näytä			
Energiankulutus ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöistä	9423 kWh			
per rakennusala	37,69 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	15 %	
LÄMMIN KÄYTTÖVESI	Näytä			
Käyttöveden lämmitykseen kuluva energia	2128 kWh			
per rakennusala	8,5 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	3 %	
VALAISTUS JA KULUTTAJALAITTEET	Näytä			
Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutus	5694 kWh			
per rakennusala	22,8 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	9 %	

Kuva 8. Energiankulutuksen jakautuminen eri osa-alueisiin.

Lopuksi esitetään kokonaisenergiankulutus muodoissa kWh ja kWh/m² ja kulutuksen jakautuminen osa-alueittain sekä absoluuttisena määränä että prosentteina. Näkymä on esitetty kuvassa 9.

Kokonaisenergiankulutus	61016 kWh
per rakennusala	244,1 kWh/m²



Kuva 9. Kokonaisenergiankulutus ja sen jakautuminen eri osa-alueisiin esitetään myös graafisesti.

Rakennusvuoden valinta vaihtaa ominaislämpöhäviöiden laskentapohjiin automaattisesti kyseisen rakennusluvan vireilletulovuoden mukaiset ohjearvot laskentataulukosta *Lämpöhäviöt*. Lähimmän kaupungin valinta hakee tätä vastaavan lämmitystarveluvun laskentataulukosta *SI7-luvut*.

Mikäli käytössä on tarkempia tietoja, voi laskurin käyttäjä muokata laskentaan vaikuttavia arvoja eri osa-alueiden alla. Tiedot saadaan muokattavaksi Näytä-painikkeesta osa-alueen otsikon vieressä, joka avaa näkyviin oletusnäkyymässä piilotettuja sarakkeita. Tämän toiminnon käyttäminen vaatii tiedoston käyttämistä .xlsb- tai .xlsm-muodossa, jotka sallivat Excelin makrojen käytön. Laajennetussa näkyymässä voi muuttaa esimerkiksi rakennusosien pinta-aloja sekä U-arvoja. Avatun näkymän voi piilottaa painamalla Piilota-painiketta. Avattu näkymä on esitetty kuvassa 10. Kaikki edistyneemmän laskentatilan avatut näkymät on esitetty liitteessä A.

lue ensin			
RAKENNUSOSAT	Näytä		
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, A [m ²]	U-arvot, U [W/(m ² ,K)]	Ominaislämpöhäviö, H _{joht} = A * U [W/K]
Ulkoseinä	190	0,81	153,8
Yläpohja	125	0,47	58,8
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)		0,35	0,0
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)		0,47	0,0
Alapohja (maanvastainen)	125	0,47	58,8
Ikkunat	36	2,8	99,7
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	12	2,2	26,1
YHTEENSÄ	487		397,1
	Piilota	Rakennusosien vuotuinen ominaislämpöhäviöenergia, Q = (H _{joht} * s17 * 24 h/d) / 1000 [kWh]	
		39045,5	
Energiankulutus rakennusosien ominaislämpöhäviöistä	39045 kWh		
per rakennusala	156,18 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	64 %

Kuva 10. Rakennusosien ominaislämpöhäviöiden laskenta avattuna käyttäjän muokattavaksi.

4. ENERGIANKULUTUSLASKELMAT

Esimerkkikohde on 250 m² puurakenteinen 2-kerroksinen omakotitalo Uudellamaalla Tuusulassa. Talo on valmistunut 1960-70 -lukujen vaihteessa ja siihen on tehty kaksi perusteellisempaa parannusta. Pidemmät ulkoseinät on lisälämmöneristetty 100 mm mineraalivillalla, ja ikkunat on uusittu vuonna 2009. Rakennuksen omistajan mukaan yläpohjan eristeenä on 200 mm villaa ja seinissä 100 mm ennen lisäeristystä. Esimerkkirakennuksesta ei ollut saatavilla teknisiä asiakirjoja. Talon pääasiallinen lämmitys tapahtuu öljyllä vesikiertoisen patterilämmityksen kautta. Viimeisen kymmenen vuoden aikana lämmityksessä on kuitenkin pyritty hyödyntämään ilmalämpöpumppuja, joita on tällä hetkellä kolme – kaksi alakerrassa ja yksi yläkerrassa. Öljyn käyttöön lämmityksessä on siirrytty yleensä vasta, kun ulkolämpötila laskee alle +5 °C:een. Käyttöveden lämmitys on vaihdettu öljystä sähköön edellä mainittujen lämmitysratkaisumuutosten yhteydessä. Rakennuksen ilmanvaihto toimii painovoimaisesti, mutta ala- ja yläkerran suihkutilojen ilmanvaihtoa voidaan tehostaa tarvittaessa poistopuhaltimien avulla. Rakennuksessa ei ole lämmön talteenottojärjestelmää. Rakennuksessa asuu työssäkäyvä pariskunta, jonka lapset ovat jo muuttaneet pois. Tämän takia osaa tiloista pidetään lämmityskaudella hieman käytössä olevia tiloja viileämpänä.

Seuraavassa alaluvussa esitellään kandidaatintyön laskimella tehdyt arviolaskelma esimerkkikohteen energiankulutuksesta. Laskelmat tehtiin myös luvussa 2 esitellyillä vuositason laskureilla. Näiden tuloksia verrataan sekä toisiinsa että toteutuneeseen kulutukseen. Laskelmat on tehty kahteen kertaan: ensin käyttäen perustason tietoja ja laskimien oletusarvoja ja tämän jälkeen syöttäen laskureihin mahdollisimman hyvin todellisuutta vastaavat tiedot.

Viimeisten vuosien aikana kevyen polttoöljyn kulutus vuositasolla on ollut 1 000 – 1 200 dm³ ja sähkön kulutus noin 20 000 kWh. Kevyen polttoöljyn tehollinen lämpöarvo on 10,0 kWh/dm³ (Ympäristöministeriö 2013), joten rakennuksen vuotuisen energiankulutuksen vertailuarvona voidaan käyttää tässä keskimääräistä arvoa 31 000 kWh. Tiedot öljyn ja sähkön kulutuksista on saatu rakennuksen omistajalta.

4.1 Esimerkkikohteen energiankulutuksen laskenta oletusarvoilla

Kandidaatintyön laskurilla suoritettujen laskennan tulokset on esitetty alaluvun 3.2 kuvissa 3 ja 4. Lähtöarvot syötettiin kuvan 2 mukaan. Perusparannuksia ei ole otettu huomioon. Kokonaisenergiankulutukseksi muodostui kandidaatintyön laskurin mukaan 61 016 kWh, joka jakautui seuraavasti:

- Rakennusosien lämpöhäviöt 39 045 kWh (64,0 % kokonaisuudesta),
- Vaipan ilmapuottojen lämpöhäviöt 4 725 kWh (7,7 %),
- Ilmanvaihdon lämpöhäviöt 9 423 kWh (15,4 %),
- Käyttöveden lämmitys 2 128 kWh (3,5 %) sekä
- Valaistus ja kuluttajalaitteet 5 694 kWh (9,3 %).

Vertailulaskimissa laskenta suoritettiin mahdollisimman vähäisin syöttein. Näitä olivat kaikissa rakennuksen tyyppi, asuineliöt tai rakennuksen pinta-ala, asukasmäärä ja rakennusvuosi vuosikymmenen tarkkuudella. Kaikissa oli mahdollista valita myös lämmitysmuoto. Tämä valittiin tulosten vertailtavuuden takia sähkölämmitykseksi, koska kyseiset laskurit laskevat vain sähkön kulutusta. Kymppivoiman ja Suur-Savon Sähkön energialaskureissa pyydettiin myös peruskorjausvuotta ja vuotuista vedenkulutusta. Nämä jätettiin oletusarvoille. Adato Energian laskuri kysyi myös postinumeroa sekä asunnon tyyppillistä käyttöä, johon valittiin sopivin vaihtoehto kuvaamaan päivätyössä käyvien asukkaiden läsnäoloaika. Kaikki laskurit ilmoittivat kaksi vuosikulutusta: annettujen syötteiden mukaisen laskelman sekä vastaavan talouden vertailukulutuksen. Jälkimmäisiä käytettiin tutkimustyön vertailussa.

Kymppivoiman Energiankulutuslaskurin (jatkossa ”laskuri 1”) ilmoittama vuotuinen energiankulutus oli edellä mainituilla syötteillä 53 360 kWh. Suur-Savon Sähkön Kodin Energialaskurilla (jatkossa ”laskuri 2”) kulutukseksi saatiin 51 692 kWh. Adato Energian Sähkötohtori-laskentaohjelmalla (jatkossa ”laskuri 3”) energiankulutukseksi saatiin 29 320 kWh. Tulokset on kerätty taulukkoihin 6 ja 7, joista ensimmäisessä esitetään energiankulutukset kilowattitunteina ja jälkimmäisessä osuuksina kokonaisuudesta. Tutkimuksen laskurin lämmitys-tulos sisältää rakennusosien, vaipan ilmapuottojen ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt.

Taulukko 6. Esimerkkikohdetta vastaavan rakennuksen tyypillinen vuotuinen energiankulutus [kWh] laskettuna tutkimuksen laskurilla ja kolmella vertailulaskurilla.

	Laskuri 1	Laskuri 2	Laskuri 3	Tutkimus
Lämmitys	45 000	45 000	23 746	53 194
Käyttövesi	2 700	2 790	1 918	2 128
Valaistus ja laitteet	5 660	3 902	3 656	5 694
Yhteensä	53 360	51 692	29 320	61 016

Taulukko 7. *Energiankulutuksen jakautuminen eri osa-alueille [%].*

	Laskuri 1	Laskuri 2	Laskuri 3	Tutkimus
Lämmitys	84,3	87,1	81,0	87,2
Käyttövesi	5,1	5,4	6,5	3,5
Valaistus ja laitteet	10,6	7,5	12,5	9,3

Taulukon 6 tuloksista voidaan havaita saatujen tulosten hajonnan olevan suuri. Laskuri 1 ja laskuri 2 antoivat hyvin toisiaan lähellä olevia arvoja. Vain valaistuksen ja kuluttajalaitteiden (jatkossa käytetään myös näille yhteistä termiä sähkölaitteet) kulutuksessa ensimmäinen antoi noin 45 % jälkimmäistä suuremman arvon. Tämä voi johtua siitä, että laskurin 2 valaistuksen laskenta ei vaikuttanut käyttöhetkellä toimivan vaan antoi kulu-
tukseksi 0 kWh. Kokonaisenergiankulutus oli suunnilleen sama. Laskurin 3 tulokset olivat kauttaaltaan muita pienempiä. Lämmitysenergiankulutuksessa laskureiden 1 ja 2 arvot olivat melkein 2-kertainen. Käyttövesi sekä valaistus ja laitteet olivat 41 % ja 55 % suuremmat kuin laskurilla 3.

Tutkimuksen laskurin tulokset olivat lähimpänä laskureiden 1 ja 2 tuloksia. Lämmityksessä se antoi noin 20 % suuremman arvon ja käyttövedessä noin 20 % pienemmän. Sähkölaitteiden kulutus oli lähes sama kuin laskurilla 1. Laskurin 3 tuloksiin nähden erityisesti lämmityksen arvo poikkeaa huomattavasti, joka tutkimuksen laskurilla oli 2,2-kertainen. Kokonaisenergiankulutuksessa tutkimuksen laskurin ero laskureihin 1 ja 2 oli noin 15 %, mutta laskuriin 3 verrattuna tulos oli yli 2-kertainen.

Kun tarkastellaan taulukon 7 arvoja energiankulutuksen suhteellista jakautumisesta, huomataan, että luvut ovat lähempänä toisiaan. Tutkimuksen laskurin tuloksista erottuu muita selvästi pienempi käyttöveden osuus. Laskurissa 3 lämmityksen osuus on pienempi ja muut arvot suurempia kuin muissa verrokeissa ja tutkimuksen laskurissa. Laskurin 2 arvoissa näkyy valaistuksen energiankulutuksen puuttuminen, mikä kasvattaa lämmityksen ja laskee sähkölaitteiden osuutta.

Esimerkkikohteen kokonaisenergiankulutuksen vertailuarvoa (31 000 kWh) lähimpänä on laskurin 3 tulos, joka oli noin 5 % verrokkiarvoa pienempi. Kolmen muun laskurin tulokset eroavat toteutuneesta huomattavasti (+70...97 %). Verrokkiarvoa ei voi luotettavasti jakaa osa-alueisiin, sillä sähköenergian osuuden jakaantumista lämmitykselle, käyttövedelle ja sähkölaitteille ei tiedetä.

Rakennusvuosi tai perusparannukset eivät tutkimuksen laskurissa vaikuta käyttöveden lämmitykseen ja sähkölaitteisiin kuluvaan energiaan. Vedenkäyttö lasketaan asukasmäärän ja sähkö rakennuksen bruttopinta-alan mukaan. Myös vertailulaskureissa kokeiltiin rakennusajankohdan vaikutusta vaihtamalla se uusimpaan vaihtoehtoon, joka oli kaikissa 2010-luku. Todettiin, että niissäkään rakennusvuosi ei vaikuttanut tuloksiin.

4.2 Esimerkkikohteen energiankulutuksen laskenta todennukaisilla tiedoilla

Laskenta suoritettiin uudestaan täydentäen laskureiden pyytämät syötteet mahdollisimman perusteellisesti käytössä olevilla tiedoilla. Näin pyrittiin saamaan tuloksia, jotka kuvaavat paremmin rakennuksen todellista käyttöä. Laskureiden 1 ja 2 lähtötietoja täydennettiin asettamalla peruskorjauksen ajankohdaksi vuodet 2003-2010 ja lämmitystä täydennetään ilmalämpöpumpuilla. Veden kulutus pidettiin oletusarvossaan. Laskurit pyysivät asetusarvoja myös kotitaloussähkön käyttöön, kuten kodinkoneiden määrä ja käyttökerrat viikossa, ruoan valmistus ja saunominen sekä valaistuksen ja viihdetekniikan käyttö. Laskureiden 1 ja 2 kysymykset sekä vastausvaihtoehdot olivat lähes identtiset. Niihin syötetyt tiedot on esitetty laskurin 1 tulosteessa 2 osiossa *kotitaloussähkö* (liite B). Laskuriin 3 ei ollut mahdollista määrittää peruskorjausvuotta, joten ainoa lisäys ensimmäiseen laskentaan oli ilmalämpöpumppujen käyttö. Myöskään kotitaloussähkön kulu-
tustottumuksia ei voinut syöttää laskureiden 1 ja 2 tapaan.

Tutkimuksen laskurissa peruskorjauksien vaikutus laskentaan voidaan huomioida vain muuttamalla yksittäisiä parametreja tai vaihtamalla rakennusvuotta uudempaan. Tämä vaatii käyttäjältä syvällisempää alan tuntemusta, jotta ymmärtää esimerkiksi U-arvojen suuruusluokkia. Uuden laskennan lähtökohdaksi otettiin vuoden 1985 jälkeiset oletusarvot, joissa ulkoseinien ja yläpohjan U-arvot 0,28 ja 0,22 W/m²,K ovat lähellä 200 mm mineraalivillalla eristetyin rakenteen arvoja. Ikkunat on uusittu vuonna 2009, joten niiden arvona käytetään tuon ajan 3-lasiselle MSE-ikkunalle melko tyypillistä U-arvoa 1,4 W/m²,K (Ympäristöministeriö 2016, s.12). Vuoden 1985 arvot eivät muuta vaipan ilmavuotojen tai ilmanvaihdon tuloksia verrattuna aliluvussa 3.3.1 käytettyihin vuoden 1969 arvoihin. Käyttöveden lämmitykseen ja sähkölaitteisiin kuluvan energian laskentaan ei tehty muutoksia.

Taulukkoon 8 on kerätty tutkimuksen laskurin sekä vertailulaskureiden tarkemman laskennan tulokset. Taulukossa 9 on esitetty kulutuksen suhteellinen jakautuminen osa-alueittain.

Taulukko 8. Esimerkkikohteen laskettu vuotuinen energiankulutus [kWh] tutkimuksen laskurilla ja kolmella vertailulaskurilla.

	Laskuri 1	Laskuri 2	Laskuri 3	Tutkimus
Lämmitys	28 000	24 000	20 746	33 039
Käyttövesi	2 700	2 700	1 918	2 128
Valaistus ja laitteet	4 488	2 880	3 656	5 694
Yhteensä	35 188	29 580	26 320	40 861

Taulukko 9. *Energiankulutuksen jakautuminen eri osa-alueille [%].*

	Laskuri 1	Laskuri 2	Laskuri 3	Tutkimus
Lämmitys	79,6	81,1	78,8	80,9
Käyttövesi	7,7	9,1	7,3	5,2
Valaistus ja laitteet	12,8	9,7	13,9	13,9

Laskennoista saadut kokonaisenergiankulutuksen arvot olivat nyt selvästi lähempänä toisiaan. Laskurin 3 tulokset olivat tälläkin kertaa pääosin muita matalampia, mutta ero lähimpään, eli laskuriin 2, oli vain noin 10 %. Tutkimuksen laskurin tulokset olivat jälleen muita suurempia. Suurin ero oli verrokkiin 3 nähden (+55 %) ja pienin verrokkiin 1 (+16 %).

Taulukon 9 energiankulutuksen suhteellista jakautumista tarkasteltaessa huomataan, että lämmityksen osuus kokonaisuudesta oli kaikilla laskureilla noin 80 %. Käyttöveden lämmityksen ja sähkölaitteiden osuuksissa tuloksissa oli enemmän eroa. Tutkimuksen laskurin tuloksissa käyttöveden osuus oli verrokkeja pienempi ja sähkölaitteiden keskiarvoa suurempi.

Lämmitykseen kuluvan energian tulos väheni taulukkoon 6 nähden laskurilla 3 noin 13 %, tutkimuksen laskurilla ja laskurilla 1 noin 38 % sekä laskurilla 2 noin 47 %. Sähkökäytön tottumuksiin vastaaminen laskureissa 1 ja 2 pienensi sähkölaitteiden energiankulutusta verrattuna tyypilliseen talouteen (liite B). Laskurin 3 ja tutkimuksen laskurin kohdalla sähkölaitteiden tulokset eivät muuttuneet. Käyttöveden lämmityksessä ei muutosta ollut laskurin 2 tulosta lukuun ottamatta. Kokonaisenergiankulutuksessa tutkimuksen laskurin ja laskureiden 1 ja 2 tulokset pienenevät noin 20 000 kWh, jolloin suhteellinen lasku oli noin 35...45 %. Laskurin 3 tulos pieneni vain 3 000 kWh, joka tarkoittaa 10 % laskua taulukon 6 tulokseen verrattuna. Huomion arvoista on, että tutkimuksen laskurin tapauksessa koko muutos muodostui lämmityksen energiantarpeen pienemisestä.

Kun taulukon 8 kokonaisenergiankulutuksen arvoja verrataan esimerkkikohteen vertailuarvoon (31 000 kWh), voidaan havaita tulosten jakautuvan tämän molemmiin puolin. Suurin ero vertailuarvoon nähden oli tutkimuksen laskurissa (+9 900 kWh, +32 %). Pienin ero oli laskurin 2 tuloksessa, joka oli vertailuarvoa pienempi (-1 400 kWh, -4,5 %).

4.3 Yhteenveto laskelmista

Energiankulutuslaskureiden tuloksissa oli paikoin suuria eroja. Tutkimuksen laskurin tulokset olivat pääsääntöisesti vertailulaskureita suuremmat. Tilanne oli sama molemmilla laskentakeroilla. Suurinta hajonta oli lämmityksessä ja kokonaisenergiankulutuksessa, joissa tutkimuksen laskurin tulokset olivat jopa yli 2-kertaisia verrokki 3 nähden. Ensimmäisenä

mäisen laskentakerran tulokset olivat tutkimuksen laskurilla ja verrokeilla 1 ja 2 huomattavasti toteutunutta energiankulutusta suuremmat. Kun syötteitä tarkennettiin toisella laskentakerralla, myös tulokset olivat lähempänä toteutunutta (noin ± 15 % toteutuneeseen). Tutkimuksen laskurin tulos oli edelleen selvästi suurin ja kauimpana toteutuneesta (noin $+30$ % verrattuna toteutuneeseen).

Absoluuttisia arvoja vertailtaessa pienimmät erot olivat käyttöveden lämmitykseen sekä valaistukseen ja kuluttajalaitteisiin kuluvaan energiassa. Tutkimuksen laskurissa rakennusajankohta ja sijainti eivät vaikuttaneet käyttöveden lämmityksen ja sähkölaitteiden energiankulutukseen. Sama todettiin myös vertailulaskureiden kohdalla edellisessä alaluovussa. Erityisesti sähkölaitteiden kohdalla tällainen oletamus on hyväksyttävä, koska niiden elinkaari on rajallinen ja uuden sukupolven laitteissa pyritään edeltäviä parempaan energiatehokkuuteen. 1960-luvulla rakennetussa talossa ei todennäköisesti ole enää käytössä sen ajan sähkölaitteita.

4.4 Laskennan tarkkuus ja virhelähteet

Laskureiden tulosten paikkansapitävyyttä tarkasteltiin vain yhden esimerkkikohteen avulla. Tutkimuksen pienen otannan perusteella ei voida tehdä tarkkoja päätelmiä laskureiden tulosten tarkkuudesta eri ikäisten ja kokoisten pientalojen kohdalla. Esimerkkikohteen kohdalla selvisi kuitenkin se, että tarkemmilla lähtötiedoilla saadaan todenmukaisempia tuloksia. Ikäänsä lukuun ottamatta esimerkkikohte oli tutkimuksen laskurille melko ideaalinen rakennus. Se on suorakaiteen muotoinen, sen kerrokset ovat keskenään suunnilleen saman kokoisia eikä siinä ole puolilämpimiä tiloja.

Tutkimuksen laskimen laskentakaavat perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman osiin D2, D3 ja D5. Lähteitä voidaan pitää luotettavana lähtökohtana. Suurin ero verrokkilaskureihin nähden tuli lämmityksessä, joka sisältää rakennusosien, ilmapuotojen ja ilmanvaihdon lämpöhäviöenergiat. Tämän tutkimuksen perusteella vanhempien rakennusten kohdalla laskennan tulosten tarkkuus heikkenee, jos rakennusta on perusparannettu. Tällöin laskurin käyttäjälle jää vastuu arvioida, vastaavatko laskennassa käytetyt parametrit todellisuutta ja muuttaa niitä tarvittaessa. Tarkempien johtopäätösten tekeminen laskennan tarkkuudesta vaatisi kuitenkin laskennan suorittamista useammilla kohteilla. Uudempien rakennusten kohdalla tarkkuudesta ei voida tutkimuksen perusteella tehdä päätelmiä. Näiden kohdalla ominaislämpöhäviöiden laskennassa käytettävät arvot ovat kuitenkin pienempiä, joten tulostenkin pitäisi olla absoluuttisilta arvoiltaan lähempänä vertailulaskureita ja toteutunutta.

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutusta laskettiin rakentamismääräyskokoelma D3:n standardikäytön arvoilla, joten laskenta perustuu lämmitettyyn nettoalaan (Ympäristöministeriö 2011a, s. 19). Asukasmäärällä ei tällöin ole vaikutusta sähkölaitteiden energiankulutukseen. Tämä aiheuttaa sen, että suuressa talossa energiankulutus on

laskennallisesti suuri, vaikka laitteiden käyttäjiä olisi vähän. Kannattaa kuitenkin huomioida, että esimerkkikohteen tapauksessa noin 80 % energiasta kuluu laskureiden mukaan lämmitykseen. Esimerkkitapauksessa lämpimän veden ja sähkölaitteiden kulutuksessa tehtävät säästöt eivät vaikuta merkittävästi kokonaisenergiankulutukseen.

Pientaloissa saattaa usein olla puolilämpimiä tiloja, kuten autotalli ja varastot, joiden lämmitys kuluttaa energiaa. Verrokkilaskureissa 1 ja 2 pystyi ilmoittamaan myös näiden tilojen pinta-alat. Tutkimuksen laskurissa ei tällaista mahdollisuutta ollut. Puolilämpimiä tiloja ei lasketa asuinpinta-alaan, mutta ne pitää huomioida virallisissa laskelmissa, kuten E-luvussa. Jos näiden tilojen sisälämpötila pyritään pitämään tasaisena lämmityskauden ajan, voi lämmityksestä muodostua merkittäviäkin kuluja. Puolilämpimien tilojen energiankulutusta ei tutkimuksen laskurissa laskettu, mutta sellaisen lisääminen olisi mahdollista, joskin työlästä. Työhön voisi lisätä osion, joka laskee näiden kevyemmin lämmöneristettyjen tilojen lämmitysenergiantarpeen erillisellä lämmitystarveluvulla, esimerkiksi +10 °C sisälämpötilalle. Lisäksi laskennan epävarmuus kasvaisi, sillä lämmitysenergiantarve on erilainen asuintiloissa kiinni olevissa tiloissa kuin erillisissä piharakennuksissa.

Pientaloissa voi usein olla myös kellaritiloja, joita tutkimuksen laskurissa ei huomioida. Myöskään verrokkilaskureissa ei kellareita mainittu. Kellaritilojen osuus voi olla suuri lämmitettävästä pinta-alasta, jopa yhtä suuri tai suurempi kuin varsinainen asuinpinta-ala. Jos tutkimuksen laskurin käyttäjän kohteessa on kellaritiloja, pitää hänen arvioida, kuinka suuren osan niistä huomioi lämmitetyssä rakennusalaassa. Tämä voi aiheuttaa epätarkkuutta laskelmissa, sillä kellaritilojen maanvastaisten seinien lämmöneristävyyydet eroavat asuinkerrosten arvoista.

5. YHTEENVETO

Rakennuksen energiankulutuksen arviointiin käytettäviä laskureita löytyy internetistä useita, tyypillisesti sähkölaitosten sivuilta. Helppokäyttöisimmät, kuten tutkimuksessa käytetyt verrokkilaskurit, eivät vaadi käyttäjältään erityistä rakennusalan tuntemista. Todennukaisia tuloksia voi saada melko vähäisilläkin lähtötiedoilla. Osassa laskureista oli mahdollista vastata myös kotitaloussähkön käyttötottumuksiin, mikä auttaa tarkentamaan tulosta entisestään.

Tutkimuksessa tehdystä laskurista oli tarkoitus tehdä yksinkertainen sekä toteutukseltaan että käytöltään laskennan tarkkuutta heikentämättä. Käyttö on periaatteessa yksinkertaista, koska laskentaan riittää kuuden lähtöarvon syöttäminen (kuva 7), joka on linjassa verrokkilaskureiden kanssa (kuva 2). Lähtöarvoista vain huonekorkeus voi olla vaikeammin määriteltävä suure. Myös tarkka rakennusaika ei välttämättä ole aina selvillä. Laskurista löytyy käyttöä opastavat ohjeet, mutta ne ovat melko suppeat. Syötettävistä lähtötiedoista *rakennusvuosi* ja *lähin kaupunki* on selostettu soluun lisätyllä kommentilla. Tällaiset kommentit olisi voinut lisätä muihinkin lähtötietosoluihin. Käytön helpottamiseksi solut on värjätty eri väreillä sen mukaan, tuleeko niihin antaa syöte (vihreä) vai ei (keltainen). Tämä on kerrottu ohjeissa. Lähtötieto-osioon jätettiin näkyviin kaksi keltaista solua, joihin lasketaan arvot käyttäjän syötteiden mukaan. Nämä tiedot eivät ole käyttäjän kannalta välttämättömiä ja ne olisi voitu siirtää esimerkiksi edistyneemmän käytön näkyviin. Ulkoasua olisi voinut myös selkeyttää esittämällä käyttäjälle oletuksena vain lähtötieto-osion (kuva 7) ja tulokset (kuva 9). Kuvassa 8 näkyvät eri osa-alueiden laskennat voisi piilottaa yhden näytä-piilota -makroparin alle sen sijaan, että jokaisessa on tämä toiminto erikseen. Tällöin kaikki oleellinen näkyisi käyttäjälle pienemmässäkin ikkunanäkymässä ja toisaalta edistyneempää käyttöä varten tarvittaisiin vähemmän klikkauksia.

Kun laskurista pyrittiin tehdä käytöltään helppo ja laskennaltaan tarkka, toteutuksen yksinkertaisuus tuntui välillä unohtuvan tekijältään. Laskentakaavojen toteutuksessa ei ollut ongelmia, koska ne lainattiin joko suoraan tai soveltaen lämmitystarveluvulla laskentaan sopiviksi rakentamismääräyskokoelman eri osista. Joitain virheitäkin laskentaan jäi, vaikka kyseisenä aikana laskurin ajateltiin olevan valmis. Kun laskurin pariin palattiin myöhemmässä vaiheessa, nämä virheet todettiin ja korjattiin. Koska energiankulutusta haluttiin laskea rakennusvuoden perusteella, jouduttiin laskennassa käyttämään paljon soluviittauksia. Laskennan runko, jossa soluviittauksia käytettiin, tehtiin jo aikaisessa vaiheessa, joten jälkepäin tehdyt suuremmat korjaukset ja lisäykset aiheuttivat aina viittauksien tarkistusta. Laskuriin lisättiin makroja, jotta saatiin toteutettua selvä ero ”peruskäytön” ja edistyneemmän tilan välille. Kuten edellisessä kappaleessa jo todettiin, vielä selvempi ero olisi saatu piilottamalla kaikki edistyneemmän tilan näkymät yhden napin

alle. Työtä olisi ollut vähemmän ja näkymä selkeämpi. Laskuria olisi voitu yksinkertaistaa vielä lisää jättämällä rakennuksen sijainti ja sen mukaan vaihtuva lämmitystarveluku pois ja käyttää vain yhtä lukua. Myös tämän toteutus vaati pitkien soluviittausten muodostamista, mutta oli silti helpohko tehdä. Rakennuksen sijainnilla voi olla kuitenkin suuri vaikutus sen lämmitystarpeeseen, joten tämä haluttiin sisällyttää laskuriin.

Tutkimuksen laskurin tulosten tarkkuus oli heikko, kun esimerkikohteen energiankulutuslaskenta tehtiin oletusarvoilla. Koska laskenta perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisiin laskenta-arvoihin, erityisesti vanhojen (ennen vuotta 1978 rakennusluvan saaneet) rakennusten kohdalla tuloksissa voi olla suuria eroja. Ero toteutuneeseen kasvaa entisestään, jos rakennusta on peruskorjattu. Vaikka esimerkikohde on rakennettu 1960- ja 70-lukujen vaihteessa, ovat siinä käytettyjen rakenteiden lämmöneristävyydet olleet jo valmistuessaan todennäköisesti ohjearvoja paremmat. 1970-luvun lopulla ohjearvot lämmönläpäisykertoimille ovat kiristyneet huomattavasti aikaisempaan verrattuna (kuva 3).

Laskuria ei annettu kolmansille osapuolille kokeiltavaksi, joten helppokäyttöisyyden ja yksinkertaisuuden arviointi perustuu täysin tekijänsä omaan näkemykseen. Subjektiiivisesti arvioituna laskurin peruskäyttö ei ole juurikaan vaikeampaa kuin verrokkilaskureilla, mutta vanhojen peruskorjattujen rakennusten kohdalla käyttö monimutkaistuu huomattavasti. Jatkokehityksenä laskuria pitäisi testata lisää uudemmilla ja useammilla rakennuksilla, jotta saadaan parempi varmuus sen tarkkuudesta.

LÄHTEET

Energiankulutuslaskuri. Kymppivoima Oy. Saatavissa (viitattu 10.1.2018): <http://www.kymppivoima.fi/energielaskuri/pks.html>

J. Delgado, E. Barreira, N. Ramos, V. Peixoto de Freitas. (2012). Hygrothermal Numerical Simulation Tools Applied to Building Physics. Springer Science & Business Media, pp. 34-35.

IDA Indoor Climate and Energy. (2014). EQUA Simulation AB. Saatavissa (viitattu 1.12.2014): <http://www.equa.se/index.php/en/ida-ice>

Kodin Energielaskuri. Lumme Energia Oy. Saatavissa (viitattu 10.1.2018): <http://energianeuvoonta.sssoy.fi/energielaskuri>

Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. (2017). Ilmatieteen laitos. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.4.2017): <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

T. Mononen. (2014). Kokonaisten rakennusten energiamallintaminen kuukausi- ja tuntitasolla. Pro gradu -tutkielma. Uusiutuvan energian koulutusohjelma. Fysiikan laitos. Jyväskylän yliopisto.

Motiva. (2016). Mihin energia kuluu? Energiatehokas koti. Päivitetty 15.1.2016. Motiva Oy. Saatavissa (viitattu 12.2.2018): http://www.energiatehokaskoti.fi/perustieto/hyva_tietaa/mihin_energiaa_kuluu

Motiva. (2017). Pientalon lämmitystapojen vertailulaskuri. Päivitetty 20.9.2017. Motiva Oy. Saatavissa (viitattu 10.1.2017): https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/vertaile_lammitysjarjestelmia/pientalon_lammitystapojen_vertailulaskuri

Rakennustietosäätiö RTS. (2014). KH 20-00563 Lämmitystarveluku. Rakennusten energiankulutuksen seuranta. Saatavissa Rakennustiedon käyttäjätunnuksilla: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/kh/kortit/00563.html.stx>

SähköTohtori. Adato Energia Oy. Saatavissa (viitattu 10.1.2018): <http://www.oulunenergia.fi/laskurit/sahkotohtori/index.html>

User Manual IDA Indoor Climate and Energy Version 4.5. (2013). EQUA Simulation AB Solna, Sweden. 179 p. Available: <http://www.equa.se/dokument/ICE45eng.pdf?lic=ICE40:4812>

M. Vuolle, M. Airaksinen. (2016). Energiatodistusopas 2016 Rakennuksen energiatodistus ja kokonaisenergiankulutuksen määrittäminen. Versio 1.7.2016, päivitykset M.

Haakana. Ympäristöministeriö. 38 s. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Energiatodistuslomakkeet

Ympäristöministeriö. (2011a). Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012, Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Ympäristöministeriö. (2011b). Tasauskalkulaatio 2012, Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen, Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki. Saatavissa: <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriö. (2011c). Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys

Ympäristöministeriö. (2013). Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012, Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki. Saatavissa: <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriö. (2016). Energiatodistusopas 2016, Rakennuksen energiatodistus ja kokonaisenergiankulutuksen määrittäminen, Liite 1 Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnittelu-arvoja. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus/Energiatodistuslomakkeet

Ympäristöministeriö. (2017). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Uudistunut_energiatodistusasetus_voimaan\(45494\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Uudistunut_energiatodistusasetus_voimaan(45494))

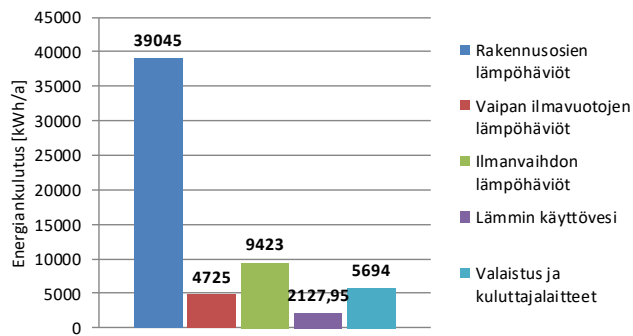
LIITE A: KANDIDAATINTYÖN ENERGIANKULUTUSLASKURIN NÄKYMÄ

Rakennuksen tiedot		Muut tiedot		Versio	12.1.2018
Lämmitetty rakennusala [m2]	250 m ²	Asukasluku	2 kpl		
Huonekorkeus [m]	2,3 m				
Rakennustilavuus [m3]	575 m ³				
Kerroslukumäärä	2 kpl	Lähin kaupunki	Vantaa		
Rakennusvuosi	-1969	Lämmitystarveluku s17	4097 K*d		
OHJEET					
lue ensin					
RAKENNUSOSAT		Näytä			
RAKENNUSOSAT					
	Pinta-alat, A [m ²]	U-arvot, U [W/(m ² ,K)]	Ominaislämpöhäviö, $H_{joht} = A * U$ [W/K]		
Ulkoseinä	190	0,81	153,8		
Yläpohja	125	0,47	58,8		
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)		0,35	0,0		
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)		0,47	0,0		
Alapohja (maanvastainen)	125	0,47	58,8		
Ikkunat	36	2,8	99,7		
Ulkko-ovet ja tuuletusluukut	12	2,2	26,1		
YHTEENSÄ	487		397,1		
	Piilota		Rakennusosien vuotuinen ominaislämpöhäviöenergia, $Q = (H_{joht} * s17 * 24 \text{ h/d}) / 1000 \text{ [kWh]}$		
			39045,5		
Energiankulutus rakennusosien ominaislämpöhäviöistä	39045 kWh				
per rakennusala	156,18 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	64 %		
VAIPAN ILMAVUODOT		Näytä			
VAIPAN ILMAVUODOT					
	Ilmanvuotoluku, [m ³ /(h*m ²)]	Vuotoilmavirta, $q_{v,v} = q_{50}/35 * A_{vaippa}/3600$ [m ³ /s]	Ominaislämpöhäviö, $H_{vuotoilma} = 1200 * q_{v,v}$ [W/K]		
Vuotoilma	[n ₅₀] = 6,0; ennen 2004	0,040	48,06		
$n_{50} = q_{50} * (A_{vaippa} / V_{rak.})$	[n ₅₀] = 4,0; 2004-2012				
	[q ₅₀] = 4,0; 2012 jälkeen				
	Piilota		Vaipan ilmapuotojen ominaislämpöhäviöenergia, $Q = (H_{vuotoilma} * T * 24 \text{ h/d}) / 1000 \text{ [kWh]}$		
			4725,4		
Energiankulutus vaipan ilmapuotojen ominaislämpöhäviöistä	4725 kWh				
per rakennusala	18,90 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	8 %		

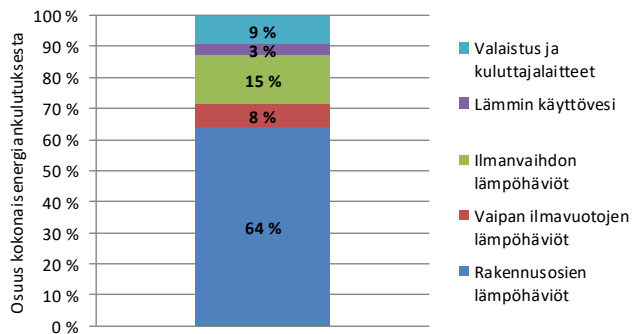
	Näytä			
ILMANVAIHTO				
ILMANVAIHTO	Ilmanvaihdon LTO:n vuosiyhötysuhde, η [%]	Poistoilmavirta sekunnissa, $q_{v,poisto} = q_{v,p} / 3600 \text{ s/h}$ [m^3/s]	Ominaislämpöhäviö, $H_{iv} = 1200 \text{ Ws}/(\text{K}\cdot\text{m}^3) * q_{v,poisto} * (1 - \eta)$ [W/K]	
Koko rakennuksen sisäilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa, eli poistoilmavirta $q_{v,p} = V / 2h$	$\eta = 0$; ennen 2004 $\eta = 30$; -> 2004 - 2010 $\eta = 45$; 2010 jälkeen	0,080	95,83	
	Piilota			
		Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöenergia, $Q = (H_{iv} * s_{17} * 24 \text{ h/d}) / 1000$ [kWh]		
		9423,1		
Energiankulutus ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöistä	9423 kWh			
per rakennusala	37,69 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	15 %	
	Näytä			
LÄMMIN KÄYTTÖVESI				
LÄMMIN KÄYTTÖVESI	Lämpimän veden kulutus vuorokaudessa asukasta kohden, V_{asukas} [m ³ /asukas,d]	Veden kulutus, $V_{lkv} = V_{lkv,asukas} * N_{asukasluku} * 365 \text{ d}$ [m ³]	Käyttöveden lämmitykseen kuluva energia (lämpötilan muutos 50°C), $Q_{lkv} = 58,3 \text{ kWh/m}^3 * V_{lkv}$ [kWh]	
Kulutus 50 dm ³ /asukas,d	0,05	36,5	2128	
	Piilota			
Käyttöveden lämmitykseen kuluva energia	2128 kWh			
per rakennusala	8,5 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	3 %	
	Näytä			
VALAISTUS JA KULUTTAJALAITTEET				
VALAISTUS	Energiankulutus, $P_{valaistus}$ [W/m ²]	Käyttöaste, k	Vuotuinen energiankulutus, $Q = k * P_{valaistus} * 8760/1000 * A$ [kWh]	
	8	0,1	1752	
KULUTTAJALAITTEET	Energiankulutus, $P_{sähkölaitteet}$ [W/m ²]	Käyttöaste, k	Vuotuinen energiankulutus, $Q = k * P_{sähkölaitteet} * 8760/1000 * A$ [kWh]	
	3	0,6	3942	
	Piilota			
Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutus	5694 kWh			
per rakennusala	22,8 kWh/m ²	osuus kokonaiskulutuksesta	9 %	

Kokonaisenergiankulutus	61016 kWh
per rakennusala	244,1 kWh/m ²

Energiankulutus osa-alueittain



Energiankulutuksen jakautuminen



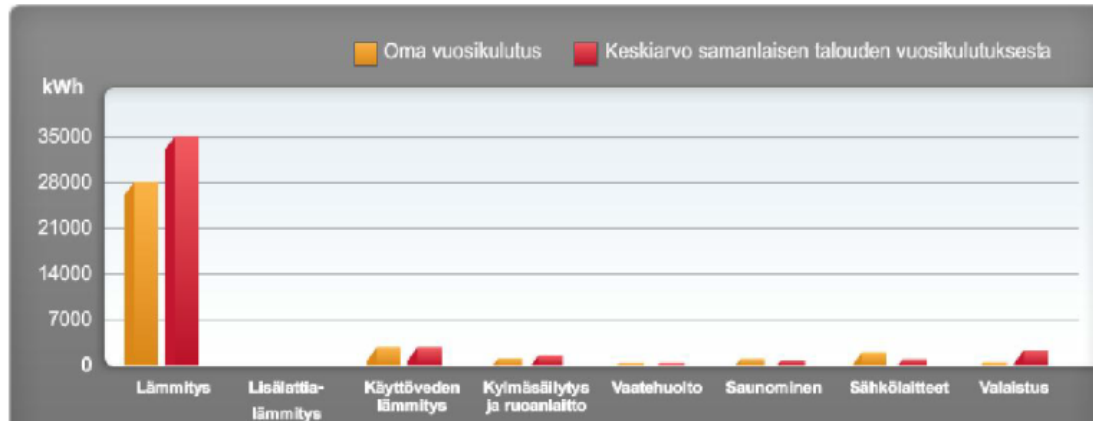
LIITE B: SÄHKÖNKÄYTTÖTOTTUMUKSIIN VASTAAMISEN VAIKUTUS TULOKSIIN

Kotini energiankulutus
10.1.2018



TULOKSESI

Tässä on yhteenveto kotisi energiankulutuksesta ja vertausarvo muihin samantyyppisiin talouksiin. Energiankulutuksen määrään voit vaikuttaa itse omilla valinnoillasi ja muuttamalla käyttötottumuksiasi.



VIKULUKSESI YTEENSÄ 35188 kWh 3871 €* 	<div>Lämmitys: 28000 kWh</div> <div>Lisälattialämmitys: 0 kWh</div> <div>Käyttöveden lämmitys: 2700 kWh</div> <div>Kylmäsäilytys ja ruoanlaitto: 1016 kWh</div> <div>Vaatehuolto: 317 kWh</div> <div>Saunominen: 936 kWh</div> <div>Sähkölaitteet: 1865 kWh</div> <div>Valaistus: 354 kWh</div>	<div>Lämmitys: 3080 €</div> <div>Lisälattialämmitys: 0 €</div> <div>Käyttöveden lämmitys: 297 €</div> <div>Kylmäsäilytys ja ruoanlaitto: 112 €</div> <div>Vaatehuolto: 35 €</div> <div>Saunominen: 103 €</div> <div>Sähkölaitteet: 205 €</div> <div>Valaistus: 39 €</div>
KESKIARVO VASTAAVAN TALOUDEN VIKULUKSESTA 43360 kWh 4770 €* 	<div>Lämmitys: 35000 kWh</div> <div>Lisälattialämmitys: 0 kWh</div> <div>Käyttöveden lämmitys: 2700 kWh</div> <div>Kylmäsäilytys ja ruoanlaitto: 1471 kWh</div> <div>Vaatehuolto: 283 kWh</div> <div>Saunominen: 736 kWh</div> <div>Sähkölaitteet: 906 kWh</div> <div>Valaistus: 2264 kWh</div>	<div>Lämmitys: 3850 €</div> <div>Lisälattialämmitys: 0 €</div> <div>Käyttöveden lämmitys: 297 €</div> <div>Kylmäsäilytys ja ruoanlaitto: 162 €</div> <div>Vaatehuolto: 31 €</div> <div>Saunominen: 81 €</div> <div>Sähkölaitteet: 100 €</div> <div>Valaistus: 249 €</div>

*Laskurin hinnat perustuvat toistaiseksi voimassa oleviin sähkön myynti- ja siirtohintojen keskiarvoon. Hinnat sisältävät arvonlisäveron.

SYÖTTÄMÄSI TIEDOT

PERUSTIEDOT

Rakennus Omakotitalo / Paritalo	Asuinneliöt 250 m²	Henkilömäärä 2	Puolilämpimät tilat 0 m²	Rakennusvuosi 1960-1970	Peruskorjattu 2003-2010
---	--	------------------------------------	--	---	---

ASUNNON LÄMMITYS

Lämmitysmuoto Sähkö	Lisälämmitys ilmalämpöpumpulla Kyllä	Lisälämmitys puulla Ei
---	--	--

KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYS

Käyttöveden lämmitysmuoto Sähkö	Vuotuinen vedenkäyttö 90 m³ / vuosi
---	---

KOTITALOUSSÄHKÖ

Jääkaapit ja pakastimet 2 kpl	Astianpesukone 2 krt / vko	Kuivausrumpu- tai kaappi 1 krt / vko	Viilhe- ja tietotekniikka 2 / 3 käyttöaste	Valaistus 1 / 3 käyttöaste	Auton lämmitys 5 krt / vko
Ruoan valmistus 3 krt / vko	Pyykinpesukone 2 krt / vko	Saunominen 2 krt / vko	Virtojen katkaisu Kyllä	Energiansäästölamput 100%	